

TUGAS AKHIR - TL 184834

ANALISIS KINERJA DAN EFISIENSI CONTINUOUS FURNACE UNTUK APLIKASI PRODUKSI FRANGIBLE BULLET

MUHAMMAD FAHMI DWI RIZALDI
NRP 02511540000046

Dosen Pembimbing
Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si
Wikan Jatimurti, S.T, M.Sc
Dr. Agus Sukarto Wismogroho M.Eng

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



TUGAS AKHIR - TL 184834

ANALISIS KINERJA DAN EFISIENSI CONTINUOUS FURNACE UNTUK APLIKASI PRODUKSI FRANGIBLE BULLET

MUHAMMAD FAHMI DWI RIZALDI
NRP 02511540000046

Dosen Pembimbing
Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si
Wikan Jatimurti, S.T, M.Sc
Dr. Agus Sukarto Wismogroho M.Eng

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL 184834

PERFORMANCE ANALYSIS AND CONTINUOUS FURNACE EFFICIENCY FOR FRANGIBLE BULLET PRODUCTION APPLICATIONS

MUHAMMAD FAHMI DWI RIZALDI
NRP 02511540000046

Advisor :
Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si
Wikan Jatimurti, S.T, M.Sc
Dr. Agus Sukarto Wismogroho M.Eng

MATERIALS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISIS KINERJA DAN EFISIENSI CONTINUOUS
FURNACE UNTUK APLIKASI PRODUKSI FRANGIBLE
BULLET**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Material Inovatif
Program Studi S-1 Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

MUHAMMAD FAHMI DWI RIZALDI

NRP 0251154000046

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Widyastuti, S.Si, M.Si..... (Pembimbing 1)
2. Wikan Jatimurti, S.T.M.Sc..... (Pembimbing 2)
3. Dr. Agus Sukarto Wismogroho M.Eng..... (Pembimbing 3)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ANALISIS KINERJA DAN EFISIENSI CONTINUOUS FURNACE UNTUK APLIKASI PRODUKSI FRANGIBLE BULLET

Nama : Muhammad Fahmi Dwi Rizaldi
NRP : 02511540000046
Jurusan : Departemen Teknik Material
Pembimbing : Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si
Wikan Jatimurti, ST.Msc
Dr. Agus Sukarto Wismogroho M.Eng

Abstrak

Munculnya taktik penyelamatan sandera yang lebih modern di mana penggunaan peluru konvensional yang membahayakan harus mulai ditinggalkan, maka digunakanlah peluru frangible yang dapat terpecah menjadi fragmen kecil ketika mengenai target yang lebih keras untuk mencegah terjadinya ricochet dan backslash yang dapat melukai penembak maupun orang di sekitar. Sifat mekanik dari peluru frangible ini sangat perlu diperhatikan terutama kekerasan dari peluru. Kekerasan ini sangat berhubungan dengan temperatur sintering pada continuous furnace. Dimana temperatur continuous furnace ini harus homogen untuk mendapatkan kekerasan sampel yang sesuai standar dengan jumlah optimum material yang dapat masuk continuous furnace . Oleh karena itu diperlakukan analisa kerja dari distribusi temperatur. Optimasi continuous furnace dilakukan terhadap banyaknya material yang dapat masuk dengan skema dan posisi tertentu. Dari hasil penelitian didapatkan sampel optimum pada skema 6x6 dengan posisi horizontal yang memiliki kekerasan 100,00 HV.

Kata kunci : Peluru Frangible, Continuous Furnace, Standar Operasi Prosedur, Kinerja Continuous Furnace, Efisiensi Continuous Furnace.

PERFORMANCE ANALYSIS AND CONTINUOUS FURNACE EFFICIENCY FOR FRANGIBLE BULLET PRODUCTION APPLICATIONS

Name : Muhammad Fahmi Dwi Rizaldi
NRP : 02511540000046
Departement : Departemen Teknik Material
Advisor : Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si
Wikan Jatimurti, ST.Msc
Dr. Agus Sukarto Wismogroho M.Eng

Abstract

The emergence of more modern hostage rescue tactics where the use of conventional bullets that are dangerous must begin to be abandoned, then frangible bullets are used which can be split into small fragments when it comes to harder targets to prevent ricochet and backslash that can injure shooters and people around. The performance of the frangible bullet is very important, especially the hardness of the bullet. This violence is closely related to temperature in continuous furnace. Where the continuous furnace temperature must be homogeneous to get the standard sample hardness with the optimum amount of material that can enter continuous furnace. Therefore it is treated the analysis of work from the temperature distribution. Continuous furnace optimization is done on the amount of material that can enter with certain schemes and positions. From the results of the study it was found that the optimum sample scheme of 6x6 with a horizontal position having a hardness of 100.00 HV.

Keywords: Frangible Bullets, Continuous Furnace, Standard Operating Procedure, Continuous Furnace Performance, Continuous Furnace Efficiency.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, tidak lupa shalawat serta salam penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis diberi kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir. Tugas Akhir ditujukan untuk memenuhi mata kuliah wajib yang harus diambil oleh mahasiswa Departemen Teknik Material Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), penulis telah menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisis Kinerja Dan Efisiensi Continuous Furnace Untuk Aplikasi Produksi Frangible Bullet**”. Penulis ingin berterima kasih juga kepada :

1. Allah SWT atas karunia, rahmat, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan lancar.
2. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T, M.Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI-ITS.
3. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta ST., M.Sc. selaku kepala program studi Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
4. Ibu Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si, Bapak Wikan Jatimurti, ST.Msc, dan Bapak Dr. Agus Sukarto Wismogroho M.Eng selaku dosen pembimbing tugas akhir yang memotivasi, memberi bimbingan dan pelajaran yang tak ternilai harganya.
5. Sungging Pintowantoro ST., MT., PhD. Selaku dosen wali yang telah memberi masukan rencana studi selama kuliah di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan laporan ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik yang membangun dari pembaca demi perbaikan dan kemajuan bersama

Surabaya, 24 Juni 2019
Penulis

Muhammad Fahmi Dwi Rizaldi

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Peluru Frangible.....	5
2.2 <i>Powder Metallurgy</i>	6
2.3 <i>Furnace</i>	13
2.4 <i>Continuous Furnace Frangible Bullet</i>	39
2.5 Penelitian Sebelumnya	50
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Diagram Alir Penelitian	55
3.2 Alat dan Bahan Pengujian	61
3.3 Desain <i>Continuous Furnace</i>	62
3.4 Pemilihan Komponen.....	63
3.5 Pembuatan Standard Operating Procedure	64
3.6 Preparasi Termokopel	64
3.7 Kalibrasi Termokopel	65
3.8 Kinerja dan Efisiensi <i>Continuous Furnace</i>	65
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Desain CF (<i>Continuous Furnace</i>)	75

4.2	Standar Operasional Kinerja Dan Instalasi Continuous <i>Furnace</i>	86
4.3	Pengujian Kinerja, Efisiensi, Dan Optimasi Continuous <i>Furnace</i>	103
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	119
5.2	Saran	119
DAFTAR PUSTAKA		121
LAMPIRAN.....		125
UCAPAN TERIMA KASIH.....		133
BIODATA PENULIS.....		135

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Peluru Frangible (Cu) Kaliber 9mm	5
Gambar 2.2	Proses Manufaktur Proyektil Frangible Dengan Metode Metalurgi Serbuk	7
Gambar 2.3	Ilustrasi Mekanisme Pencampuran	8
Gambar 2.4	Ilustrasi Proses Kompaksi Serbuk	9
Gambar 2.5	Skema Proses Sintering Serbuk	11
Gambar 2.6	Proses Dan Bentuk Ikatan <i>Solid State Sintering</i>	12
Gambar 2.7	Proses <i>Liquid Sintering</i>	12
Gambar 2.8	Skema Proses Sintering Pada Proses Produksi Proyektil Frangible	12
Gambar 2.9	Klasifikasi <i>Furnace</i>	16
Gambar 2.10	Tipe – Tipe <i>Furnace</i>	17
Gambar 2.11	Dimensi Coil Elemen Pemanas	20
Gambar 2.12	Kurva <i>Lifetime</i> Elemen Pemanas	21
Gambar 2.13	Perpindahan Panas Pada Refraktori Atau Insulasi	22
Gambar 2.14	Sifat – Sifat Yang Dibutuhkan Pada Pemilihan Refraktori	23
Gambar 2.15	Tegangan Seebeck Pada Dua Logam A Dan B ...	24
Gambar 2.16	Skematik Temperature Controller Pada <i>Furnace</i> .	26
Gambar 2.17	Pengukuran Emf Pada Keluaran Thermocouple <i>Furnace 2</i>	27
Gambar 2.18	Analisa Panas Pada <i>Continuous Furnace</i>	28
Gambar 2.19	Prinsip Kerja <i>Furnace</i>	32
Gambar 2.20	Perpindahan Panas Pada Dinding <i>Furnace</i>	34
Gambar 2.21	Faktor Yang Menggambarkan Ekivalensi Pelepasan Panas Dari Bagian Terbuka	37
Gambar 2.22	Grafik Yang Menggambarkan Radiasi <i>Blck Body</i>	37
Gambar 2.23	Mekanisme Waste - Gas Losses	38
Gambar 2.24	Skematik Zona Pada <i>Furnace</i>	40

Gambar 2.25 a) Posisis Versus Waktu Untuk Single-Step Mode, b) Posisi Versus Waktu Untuk Slew Mode	43
Gambar 2.26 Motor Stepper Bipolar	44
Gambar 2.27 Motor Stepper Empat-Phase	45
Gambar 2.28 Motor Stepper Vr Tiga Fasa 150	45
Gambar 2.29 Kontruksi Internal Motor Stepper	46
Gambar 2.30 Skema Prinsip Kerja Contactor	48
Gambar 2.31 a) Contactor Off. b) Contactor On	49
Gambar 3.1 Diagram Alir Keseluruhan	56
Gambar 3.2 Diagram Alir Pemilihan Komponen <i>Continuous Furnace</i>	57
Gambar 3.3 Diagram Alir Pembuatan Standard Operating Instalasi	58
Gambar 3.4 Diagram Alir Pembuatan Standard Operating Procedure Kinerja <i>Continuous Furnace</i>	59
Gambar 3.5 Diagram Alir Pengujian Kinerja Dan Efisiensi <i>Continuous Furnace</i>	60
Gambar 3.6 Sampel Uji	62
Gambar 3.7 Ilustrasi Desain <i>Continuous Furnace</i>	63
Gambar 3.8 Desain <i>Real Continuous Furnace</i>	63
Gambar 3.9 Susunan Termokopel Untuk Uji Distribusi Temperatur (a) <i>Fixture</i> Pada Tray (b) Dimensi Tray	66
Gambar 3.10 Termokopel <i>Data Logger</i> TC-08	66
Gambar 3.11 Luas Area <i>Fixture</i>	68
Gambar 4.1 Skema Desain <i>Continuous Furnace</i>	77
Gambar 4.2 <i>Continuous Furnace</i> (a) Tampak Samping (b) Tampak Depan	92
Gambar 4.3 Panel Kontrol Daya Utama	94
Gambar 4.4 Panel Kontrol Temperatur Tungku	94
Gambar 4.5 Panel Kontrol Konveyor	95
Gambar 4.6 Posisi Termokopel Termal <i>Continuous Furnace</i> .	104

Gambar 4.7	Kalibrasi Termokopel.....	105
Gambar 4.8	Termokopel Uji Distribusi Temperatur Mulai Masuk <i>Continuous Furnace</i>	107
Gambar 4.9	Kurva Pre-Uji Coba Didtribusi Temperatur (a) 100°C, (b) 200°C, (c) 300°C	107
Gambar 4.10	Proyeksi Bacaan Temperatur Pada Skema Desain <i>Continuous Furnace</i> (a) Grafik Desain (b) Grafik Bacaan	109
Gambar 4.11	Sampel Yang Digunakan (a) Cu Rod, (b) CuSn Kompaksi	110
Gambar 4.12	Sampel Mulai Masuk <i>Continuous Furnace</i>	111
Gambar 4.13	Diagram Pengaruh Posisi Terhadap Kekerasan Sampel Cu Rod Setelah Sintering	111
Gambar 4.14	Grafik Perbandingan Kekerasan Sebelum Dan Setelah Sintering.....	112
Gambar 4.15	Sampel Uji (a) Sebelum Sintering, (b) Setelah Sintering	114
Gambar 4.16	Kurva Pengaruh Posisi Terhadap Kekerasan Sampel Peluru Setelah Sintering.....	115
Gambar 4.17	Grafik Presentase Rasio Keberhasilan Sampel ..	116

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Proses Secara Fisika	13
Tabel 2.2 Proses Kimia	14
Tabel 2.3 Data Sifat Elemen Pemanas	18
Tabel 2.4 Tipe – Tipe Termokopel	24
Tabel 2.5 Jenis Gearbox	46
Tabel 2.6 Hasil Penelitian Peluru Frangible.....	50
Tabel 3.1 Fungsi Tiap Zona Dalam <i>Continuous Furnace</i>	62
Tabel 3.2 Langkah Pengujian Distribusi Temperatur.....	66
Tabel 3.3 Koordinat Posisi Peluru	68
Tabel 4.1 Konstanta Kuantitas Panas Zona Pre-Sintering.....	78
Tabel 4.2 Konstanta Kuantitas Panas Zona Sintering	78
Tabel 4.3 Konstanta Panas Zona Pasca-Sintering	79
Tabel 4.4 Konstanta Spesific Energi.....	79
Tabel 4.5 Konsta <i>Heat Loss</i> Bagian Terbuka.....	80
Tabel 4.6 Konstanta <i>Heat Loss</i> Melalui Kulit.....	80
Tabel 4.7 Konstanta Perhitungan Panjang Coil.....	82
Tabel 4.8 Konstanta Panjang Kerekatan Coil	82
Tabel 4.9 Konstanta Konsentrasi Beban Permukaan	82
Tabel 4.10 Konstanta Perhitungan Tebal Refractory	84
Tabel 4.11 Konstanta Perhitungan Lebar Belt	85
Tabel 4.12 Konstanta Perhitungan Panjang Belt.....	86
Tabel 4.13 Konstanta Berat Produk Pada Belt	86
Tabel 4.14 Spesifikasi <i>Continuous Furnace</i>	87
Tabel 4.15 Komponen - Komponen <i>Continous Furnace</i>	89
Tabel 4.16 Standar Operasional Instalasi.....	96
Tabel 4.17 Standar Operasional Operasi Menyalakan <i>Furnace</i> .	98
Tabel 4.18 Setting Panel Temperatur.....	101
Tabel 4.19 Standar Operasional Mematikan <i>Continuous Furnace</i>	102
Tabel 4.20 Data Hasil Percobaan Kalibrasi Sebelum Preparasi	105

Tabel 4.21 Data Hasil Percobaan Kalibrasi Termokopel
Setelah Preparasi 106

Tabel 4.22 Hasil Uji Kekerasan Dan Jumlah Sampel Yang
Memenuhi Kriteria 115

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Material Frangible adalah material yang memiliki kemampuan untuk terdeformasi menjadi fragmen - fragmen kecil ketika menerima beban tertentu. Saat ini salah satu aplikasi material frangible telah dikembangkan adalah sebagai proyektil peluru. Material yang digunakan komposit matriks logam Cu-Sn yang ramah lingkungan dan minim *backsplash* atau *richocet* dibanding dengan material proyektil peluru konvensional. Material frangible Cu-Sn tersebut diproduksi melalui metode metalurgi serbuk yang terdiri dari tahapan *mixing*, kompaksi, dan sintering. Tahapan sintering merupakan proses penting dalam pembentukan ikatan antar partikel serbuk, sehingga cukup menentukan sifat mekanik dari material frangible tersebut. Alat yang digunakan pada proses sintering adalah *batch furnace* pada skala laboratorium yang terbatas pada jumlah dan laju produksi material tersebut. Untuk masuk pada taraf industri dibutuhkan jumlah dan laju material yang tidak sedikit, sehingga dibuatlah *Continuous Furnace* untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Parameter – parameter untuk menghasilkan kinerja *Continuous Furnace* yang baik harus diterapkan, dilakukan juga pemilihan komponen – komponen untuk merancang *Continuous Furnace* untuk menghasilkan produk *frangible bullet* yang memenuhi standar.

Pada penelitian yang dilakukan oleh S. Kruachatturat dkk (2009) menyebutkan bahwa kekuatan tekan yang harus dimiliki oleh peluru frangible berada pada kisaran 31 – 310 MPa. Dengan nilai kekerasan permukaan pada kisaran 54 – 119 HV. Nilai sifat mekanik ini salah satunya dihasilkan dari proses sintering. Variabel proses sintering yang cukup signifikan adalah waktu dan temperatur sintering. Waktu sintering pada *continuous furnace* dapat diatur dengan mengatur kecepatan translasi konveyor . dalam *batch furnace* waktu sintering 30 menit jika dikonversi ke *continuous furnace* dengan panjang zona pemanasan 520 mm

maka dibutuhkan kecepatan translasi *conveyor* yang lebih lambat (Jonas, 2017) sedangkan zona padaruang *furnace* tidak semuanya merupakan zona sintering. Pada penelitian tersebut dilakukan juga pengujian pengaruh jumlah material dan posisi penempatan terhadap distribusi nilai kekerasan.

Pada penelitian tugas akhir ini dilakukan pembuatan *Continuous Furnace*, pengujian kinerja dan efisiensinya. Diawali dengan pemilihan bahan, instalasi peralatan dan selanjutnya pengujian berbagai variabel untuk memastikan *Continuous Furnace* yang dibuat bekerja sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana memilih komponen *continuous furnace* yang sesuai dengan spesifikasi?
2. Bagaimana standar operasional *instalasi* komponen *continuous furnace* yang tepat ?
3. Bagaimana standar operasional prosedur operasi *continuous furnace* yang tepat ?
4. Bagaimana pengujian kinerja dan efisiensi *continuous furnace* sintering yang tepat ?

1.3 Batasan Masalah

Agar didapat hasil akhir yang baik dan sesuai dengan tujuan perancangan serta tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau, maka batasan masalah pada perancangan ini adalah sebagai berikut :

1. Fungsi kerja alat sama untuk komponen yang berbeda merk..
2. Ketebalan alumina pada termokopel uji dianggap mempunyai efek sama.
3. Arus listrik untuk elemen pemanas dianggap sama.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memilih komponen *continuous furnace* yang sesuai dengan spesifikasi.
2. Mendapatkan standar operasional *instalasi* komponen *continuous furnace* yang tepat.
3. Mendapatkan standar operasional operasi *Continuous Furnace* sintering *frangible bullet* yang tepat.
4. Mengefisiensikan kinerja *continuous furnace* sintering dengan tepat.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan alat *Continuous Furnace* sintering yang optimal. Selain itu penelitian ini juga mampu digunakan sebagai pengembangan teknologi *furnace* dalam dunia industri.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Peluru Frangible

Kemampuan untuk terpisah menjadi fragmen-fragmen kecil setelah mengenai target yang keras disebut dengan *frangibility*. *Frangibility factor* atau sifat mudah pecah dari peluru *frangible* yang dipengaruhi oleh bentuk proyektil, sifat mekanik dari material proyektil, desain proyektil, teknologi produksi dan kondisi impact dari proyektil contoh bentuknya pada **Gambar 2.1** (J. Komenda, 2017)



Gambar 2.1 Peluru Frangible (Cu) Kaliber 9mm
(J. Komenda, 2017)

Peluru *frangible* adalah peluru yang mudah pecah menjadi fragmen-fragmen kecil ketika mengenai target yang lebih keras darinya untuk mencegah terjadinya *ricochet* dan *backsplash*. Pada proses pengembangannya, material frangible dapat diaplikasikan sebagai material proyektil peluru. Proyektil peluru frangible ini didesain agar dapat terpecah menjadi beberapa bagian ketika membentur tembok atau permukaan lain yang keras untuk mencegah terjadinya pemantulan. Perkembangan peluru frangible tergolong masih baru, hal ini berangkat dari penggunaan proyektil standar yang digunakan sesuai dengan jarak tembakan dan

kebutuhan perlindungan pribadi. Dengan munculnya taktik penyelamatan sandera yang lebih modern di tahun 1970-an dan 1980-an, lembaga militer dan polisi mulai mencari cara untuk meminimalkan resiko dari penggunaan peluru konvensional. Maka salah satu solusi yang dapat diterima adalah penggunaan peluru frangible. (Jonas, 2017)

Secara umum densitas dari peluru frangible menurut Hansen (2008) harus memiliki densitas dengan kisaran 1,75 g/cc–8,25 g/cm³ Sedangkan untuk peluru frangible yang sesuai dengan karakteristik uji tembak memiliki densitas dengan kisaran 7,1–8,5 g/cm³. Pada penelitian yang dilakukan oleh S. Kruachatturat dkk (2009) menyebutkan bahwa kekuatan tekan yang harus dimiliki oleh peluru frangible berada pada kisaran 31 – 310 MPa. Dengan nilai kekerasan permukaan pada kisaran 54 – 119 HV. (Vicko Gestantyo, 2014).

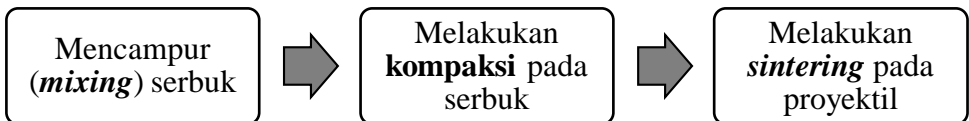
2.2 Powder Metallurgy

Metalurgi serbuk merupakan proses pembuatan benda komersial dengan menggunakan serbuk sebagai material awal sebelum proses pembentukan. Prinsip dalam pembentukan serbuk adalah memadatkan serbuk logam menjadi serbuk yang diinginkan kemudian memanaskannya di bawah temperatur lelehnya (**Gambar 2.2**). Sehingga partikel-partikel logam memadu karena mekanisme transformasi massa akibat difusi atom antar permukaan partikel. Pemanasan dalam pembuatan serbuk dikenal dengan sinter yang menghasilkan ikatan partikel yang halus, sehingga kekuatan dan sifat fisisnya meningkat. (Taufik Akbar, 2013)

Proses produksi proyektil *frangible* pada studi ini menggunakan metode metalurgi serbuk. Prinsip utama dalam metalurgi serbuk adalah memadatkan serbuk logam dengan tekanan tinggi dalam suatu cetakan agar memiliki bentuk sesuai cetakannya kemudian dipanaskan di bawah titik lelehnya agar partikel partikel logam memadu karena mekanisme difusi atom antar partikel (Jones, 1960).

Proses metalurgi serbuk memiliki banyak keunggulan antara lain :

1. Efisiensi pemakaian bahan yang sangat tinggi dan hampir mencapai 100%
2. Tingkat terjadinya cacat seperti segregasi dan kontaminasi sangat rendah.
3. Stabilitas dimensi sangat tinggi.
4. Kemudahan dalam proses standarisasi dan otomatisasi
5. Tidak menimbulkan tekstur pada produk.
6. Besar butir mudah dikendalikan
7. Mudah dalam pembuatan produk beberapa paduan khusus yang susah didapatkan dengan proses pengecoran (casting).
8. Porositas produk mudah dikontrol .
9. Cocok untuk digunakan pada material dengan kemurnian tinggi.
10. Cocok untuk pembuatan material komposit dengan matriks logam.



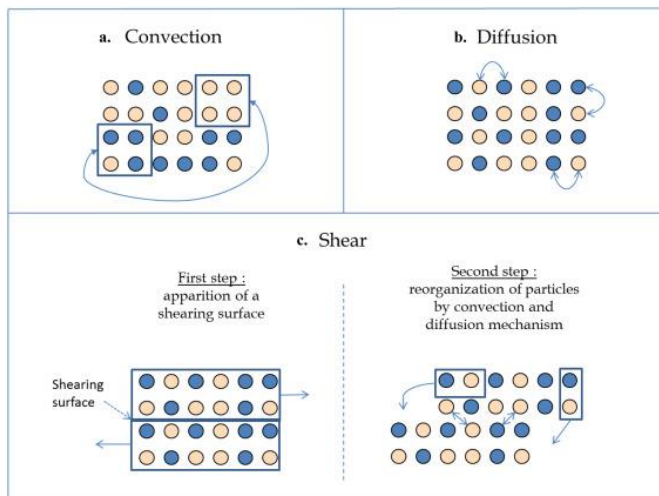
Gambar 2.2 Proses Manufaktur Proyektil Frangible Dengan Metode Metalurgi Serbuk

2.2.1 Mixing

Proses pencampuran (*mixing*) dalam metalurgi serbuk berfungsi untuk mendapatkan distribusi serbuk yang merata dari campuran berbagai bahan. Dalam proses pembuatan proyektil peluru *frangible*, dibutuhkan tingkat homogenitas yang tinggi untuk memperoleh hasil yang bagus. Proses pencampuran serbuk terbagi menjadi dua, yaitu pencampuran kering dan pencampuran basah. Pencampuran basah dilakukan untuk logam – logam yang mudah teroksidasi seperti tembaga Cu, sehingga perlu ditambahkan pelarut polar seperti ethanol (Vicko, 2014). Dalam proses pembuatan proyektil peluru *frangible*, komposisi yang

digunakan adalah 90% Cu, 10% Sn, dan tambahan 0,5% zinc stearate. Pelarut polar yang digunakan adalah ethanol sebesar 10 ml tiap 10 butir proyektil peluru *frangible*.

Homogenitas dari hasil pencampuran bergantung pada proses pencampuran (difusi, konveksi, atau *shear*) dan jenis campuran. Durasi pencampuran juga berperan penting dalam proses pencampuran. Terdapat tiga jenis mekanisme dalam proses pencampuran, yaitu difusi, konveksi, dan *shear* dengan skema seperti **Gambar 2.3**



Gambar 2.3 Ilustrasi Mekanisme Pencampuran
(Mayer-Laigle, 2015)

Mekanisme difusi terjadi ketika material yang padat tersebar di permukaan dikarenakan gerak dari *mixer*, menghasilkan kontak antar partikel. Hal tersebut membantu memperoleh homogenitas pada skala ukuran partikel, meningkatkan kualitas hasil akhir dari proses pencampuran. Sementara, mekanisme konveksi ketika gerakan *blender* menyebabkan gumpalan - gumpalan serbuk berpindah dari satu tempat ke tempat lain, menghasilkan

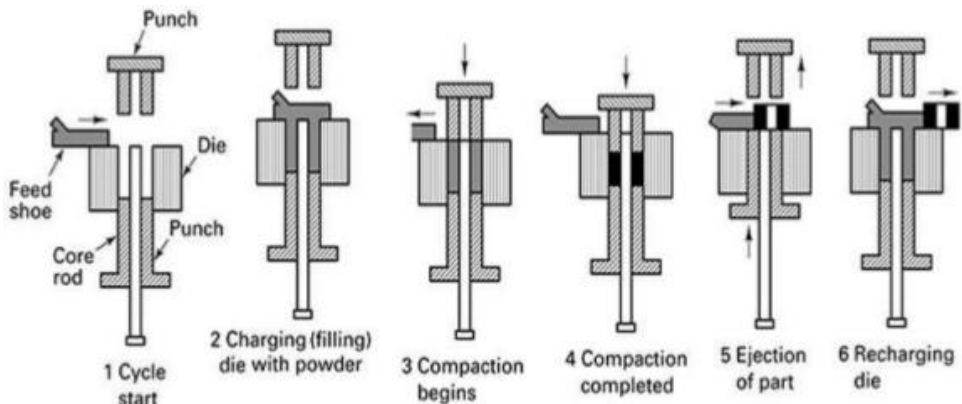
homogenitas pada tingkat makroskopik. Mekanisme ini lebih mudah terjadi dibanding mekanisme pencampuran yang lain.

2.2.2 Kompaksi

Kompaksi adalah proses pemadatan serbuk dengan tekanan tinggi dalam suatu cetakan agar mempunyai bentuk tertentu dan memiliki kekuatan untuk diproses *sintering*. Kompaksi berkaitan erat dengan tekanan yang diaplikasikan untuk memadatkan serbuk sehingga memiliki bentuk dan densitas tinggi. Kompaksi pada metode metalurgi serbuk bertujuan untuk:

- Memadatkan serbuk ke bentuk yang diinginkan.
- Memberikan bentuk dan jenis porositas yang diinginkan.
- Memberikan kekuatan agar bisa diproses di tahap selanjutnya

Ilustrasi dan skema proses kompaksi serbuk dapat dilihat pada **Gambar 2.4**



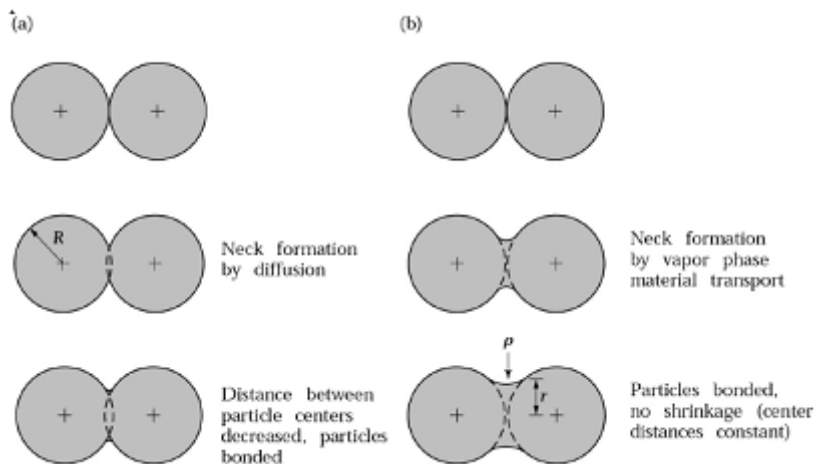
Gambar 2.4 Ilustrasi Proses Kompaksi Serbuk (Singh, 2014)

2.2.3 Sintering

Sintering adalah proses pemanasan produk hasil kompaksi pada suatu temperatur yang dilakukan untuk membentuk suatu ikatan antar partikel melalui mekanisme difusi atom sehingga

kekuatan produk awal meningkat dengan skema pada **Gambar 2.5**. Adapun parameter proses *sintering* yang perlu diperhatikan sebagai berikut (German, 1984):

1. Temperatur *sintering*
Semakin tinggi temperatur *sintering* maka akan terjadi *shrinkage* yang lebih besar, pertumbuhan butir, dan biaya semakin mahal.
2. Ukuran partikel serbuk
Semakin halus serbuk maka semakin cepat laju *sintering*, dan level impuritas yang semakin baik.
3. Waktu *sintering*
Semakin lama proses *sintering* berlangsung maka diameter serbuk semakin besar.
4. *Green density*
Densitas hasil kompaksi yang semakin tinggi mengakibatkan terjadinya penyusutan yang semakin kecil, terbentuk porositas yang lebih kecil dan diperoleh dimensi yang seragam.
5. Tekanan kompaksi
Semakin tinggi tekanan kompaksi akan memperbanyak dislokasi sehingga mempercepat *sintering*.

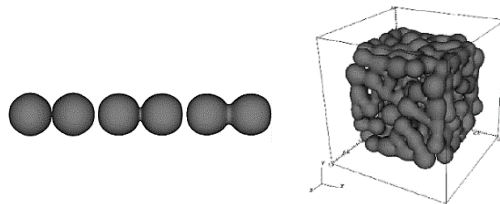


Gambar 2.5 Skema Proses Sintering Serbuk
(Serope Kalpakjian, 2009)

Proses *sintering* dibagi menjadi dua jenis yaitu *Solid State Sintering* dan *Liquid State Sintering*.

a. *Solid State Sintering*

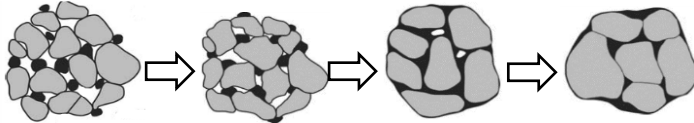
Pada proses ini terjadi pembentukan ikatan antar partikel padat ketika dipanaskan. Ikatan ini menurunkan energi permukaan dengan mengurangi *free surface* dan mengeliminasi *grain boundary* dengan pertumbuhan butir. Sehingga terjadi fenomena penyusutan dan pertumbuhan butir seperti gambar **Gambar 2.6**



Gambar 2.6 Proses Dan Bentuk Ikatan *Solid State Sintering* (Daniel, 2012)

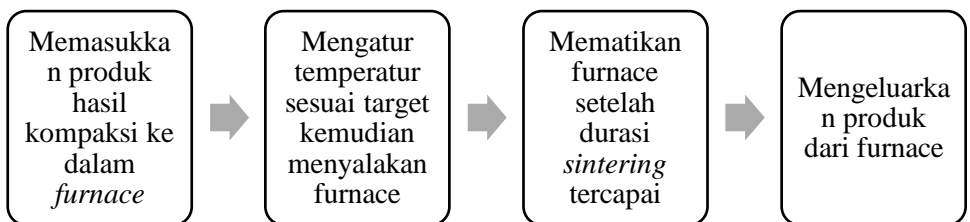
b. Liquid Phase Sintering

Proses sintering ini melibatkan fasa cair pada temperatur tertentu. Syarat material logam pada proses ini adalah material tersebut dapat membentuk lapisan di sekeliling fasa padatan seperti **Gambar 2.7** dan cairan logam harus memiliki kelarutan terhadap fasapadat.



Gambar 2.7 Proses *Liquid Sintering* (Sumber Daniel, 2012)

Skema proses *sintering* pada proses produksi proyektil *frangible* adalah seperti **Gambar 2.8**



Gambar 2.8 Skema Proses Sintering Pada Proses Produksi Proyektil Frangible

2.3 Furnace

Furnace menurut kamus Cambridge merupakan sebuah wadah yang dipanaskan hingga suhu yang sangat tinggi, sehingga zat-zat yang diletakkan di dalamnya, seperti logam, akan meleleh atau terbakar. Prinsip dan tujuan utama pada *furnace* adalah untuk mencapai temperatur proses yang lebih tinggi daripada yang dapat dicapai pada udara terbuka. Meskipun beberapa proses dapat menggunakan sistem udara terbuka, namun efisiensinya akan sangat jauh lebih rendah, kemudian pemakaian bahan bakar akan jauh lebih besar dan kontrol proses akan cukup sulit. *Furnace* dapat digunakan untuk mewadahi reaksi kimia yang besar atau beberapa proses secara fisik sederhana, seperti annealing atau drying. Salah satu tantangan yang dihadapi dalam mendesain *furnace* adalah menentukan langkah penentuan laju kritis dan memastikan bahwa desain yang dibuat bekerja seefektif dan seefisien mungkin. Sehingga *furnace* dengan efisiensi secara kerja dan ekonomis yang besar perlu dikembangkan lagi.

Model *furnace* digunakan untuk mensimulasikan operasi *furnace*, mengevaluasi input energi dan distribusi panas dalam *furnace*, dan akhirnya memprediksi suhu *furnace*, yang diperlukan untuk menghitung profil suhu beban. (Purushothaman, 2008)

Pada aplikasi industri *furnace* digunakan untuk memproses material mentah atau *rawmaterial* untuk menjadi produk yang dapat diproses lebih lanjut. Proses yang terjadi pada *furnace* meliputi proses fisika maupun kimia. Pada tabel berikut adalah proses yang terjadi pada *furnace*.

Tabel 2.1 Proses Secara Fisika (Purushothaman, 2008)

Unit proses	Tujuan	Sumber energi	Temperatur (°C)	Tipe <i>furnace</i>
Karbonisasi	Konversi batu bara ke kokas	Pemanasan tidak langsung oleh pembakar	1000 – 2000	Oven kokas

		an bahan bakar		
Kalsinasi	<ul style="list-style-type: none"> Menghilangkan CO_2 dari CaCO_3 padaproduksi semen Produksi alumina untuk elektrolisis 	Bahan bakar fosil Bahan bakar fosil	1200 1300	Rotary kiln Rotary kiln
Roasting	Konversi sulfida kedalam oksida parsial atau sempurna	Kimia + bahan bakar fosil	900	Multiple hearth <i>furnace</i>
Pemanasan	Untuk pengerjaan panas, proses laku panas	Kebanyakan oli dan perapian gas	Dibawah titik lebur	Tipe batch dan continuous <i>furnace</i>
Sintering	Untuk produksi partikel kompak	Fosil atau listrik	Dibawah titik lebur	Sintering <i>furnace</i>

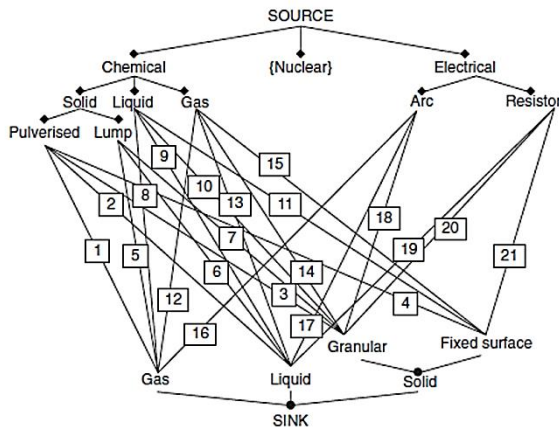
Tabel 2.2 Proses Kimia (Purushothaman, 2008)

Unit proses	Tujuan	Sumber energi	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	Tipe <i>furnace</i>
Elektrolisis	Untuk produksi Al, Mg, dan Na	Energi listrik	700 – 900	Sell Hall-herault

Refining	Produksi baja	Kimia dan listrik	1600	<i>Furnace listrik</i>
Melting	Produksi baja coran dan alloy	Listrik dan fosil	Diatas titik lebur	<i>Furnace induksi</i>
Matte smelting	Produksi matte	Kimia dan bahan bakar fosil	1200	Smelter
Reduction smelting	Produksi logam panas, zinc	Kimia dan bahan bakar fosil	1700 – 1800	Blast furnace besi Zn blast <i>furnace</i>
Conveting	Produksi tembaga	Energi kimia	1100 – 1200	Side blown converter

2.3.1 Klasifikasi *Furnace*

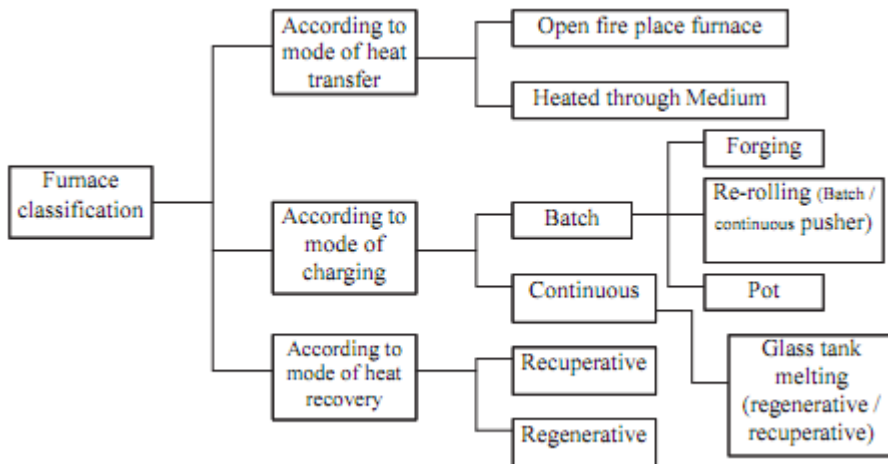
Ada beberapa cara mengklasifikasi tungku yang hampir tak terbatas, misal berdasarkan bentuk, industri, produk, dll, tetapi klasifikasi yang sangat sederhana berdasarkan konsep perpindahan panas dari jenis sumber panas dan jenis *heat sink* ditunjukkan pada **gambar 2.9**. Sistem klasifikasi ini sangat disederhanakan tetapi bermanfaat karena sifat produk, jenis bahan bakar, dan mekanisme perpindahan panas semuanya memiliki pengaruh besar pada pengaturan fisik tungku.



Gambar 2.9 Klasifikasi *Furnace* (Peter Mullinger, 2008)

1. tabung air boiler
2. pemanas air atau fluida termal
3. rotary kiln, bergerak atau perapian rotary
4. tungku perapian terbuka
5. parut tetap atau bergerak dengan tabung uap
6. Pemanas kabin 6 tabung
7. tempat horizontal terfluidisasi, tungku multi-perapian
8. kilang cracking *furnace*
9. Pemanas 9 tabung, boiler tabung api
10. rotary kiln, fluidized bed, flash heating *furnace*, shaft kiln, moving atau rotary hearth
11. tungku perapian terbuka, tangki gelas, tungku pemanas ulang logam
12. kilang cracking *furnace*, reformer *furnace*, pemanas udara
13. tabung api boiler, pemanas tabung-masih, tungku pemanasan ulang logam
14. tanur putar, unggun terfluidisasi, tanur pemanas cepat, tanur poros, perapian bergerak atau putar

15. tungku perapian terbuka, tangki kaca, tungku pemanas ulang logam
16. tungku plasma
17. tungku busur logam cair
18. busur peleburan logam dan tungku induksi
19. pemanas celup logam cair, pemanas tangki kaca
20. tungku meredam
21. batch pemanas, tungku anil



Gambar 2.10 Tipe – Tipe *Furnace* (Puram., 2010)

2.3.2 Bagian – Bagian *Furnace*

- Elemen Pemanas

Elemen pemanas merupakan piranti yang mengubah energi listrik menjadi energi panas melalui proses *Joule Heating*. Prinsip kerja elemen panas adalah arus listrik yang mengalir pada elemen menjumpai resistansinya, sehingga menghasilkan panas pada elemen. Persyaratan elemen pemanas antara lain :

1. Harus tahan lama pada suhu yang dikehendaki.

2. Sifat mekanisnya harus kuat pada temperatur yang dikehendaki.
3. Koefisien muai harus kecil, sehingga perubahan bentuknya pada temperatur yang dikehendaki tidak terlalu besar.
4. Tahanan jenisnya harus tinggi.
5. Koefisien temperatur harus kecil, sehingga arus kerjanya sedapat mungkin konstan.

Bahan yang paling banyak digunakan untuk pembuatan elemen pemanas listrik terdiri dari campuran : krom – nikel, krom – nikel – besi, krom – besi – alumunium. Bahan-bahan tersebut tahan terhadap temperatur tinggi karena membentuk lapisan oksida yang kuat pada permukaannya, sehingga tidak terjadi oksidasi lebih lanjut. Bahan yang digunakan sebagian besar ditentukan oleh suhu maksimum yang dikehendaki. Logam-logam campuran tersebut diatas dapat digunakan sampai 1000°C hingga 1250°C. Untuk temperatur yang lebih tinggi, misalnya untuk tanur listrik dapat digunakan campuran kanthal. Campuran ini terutama terdiri dari krom, alumunium, besi dan kobalt, dan dapat dibedakan dari campuran krom nikel karena memiliki beberapa sifat penting berikut ini dan sifat mekanik seperti pada **Tabel 2.3**:

- a. Jika dipanaskan diudara, campuran kanthal akan membentuk kulit oksida yang sangat melekat.
- b. Elemen-elemen kanthal dapat digunakan sampai 1350°C.
- c. Tahanan jenis bahan ini $(1,35 - 1,45) \times 10^{-6} \Omega m$.

Umumnya bahan ini dapat diberi beban permukaan yang tinggi (dalam satuan W/cm).

Tabel 2.3 Data Sifat Elemen Pemanas (Sandvik, 1999)

Sifat Material	Nilai
Kekuatan Tarik (1550°C)	100 MPa
Kekuatan Bending (20°C)	450 MPa
Kekuatan Kompresif (20°C)	1400 – 1500 MPa
<i>Fracture Toughness</i> (20°C)	3 – 4 MPam ^{1/2}
Kekerasan HV (20°C)	9 GPa
Massa Jenis (1700°C)	5.6 g/cm ³

Porositas	< 1%
Konduktifitas Termal (20 – 600°C)	30 W m ⁻¹ K ⁻¹
Konduktifitas Termal (600 – 1200°C)	15 W m ⁻¹ K ⁻¹
Koefisien Linear Expansion	7 -8 10 ⁻⁶ K ⁻¹
<i>Specific Heat Capacity</i> (20°C)	0.42 kJ kg ⁻¹ K ⁻¹
Emissivitas	0.7 – 0.8
Resistivitas	Fungsi terhadap Temperatur

Kanthal super dapat digunakan sampai 1600°C. Bahan ini berupa bubuk yang dipanaskan hingga padat dan terdiri dari suatu bahan yang dapat disamakan dengan logam, dan suatu bahan keramik. Unsur-unsur utamanya ialah Mo, Si, dan SiO₂. Beban permukaan untuk kanthal super dapat mencapai 10–20 W/cm. Tahanan jenisnya meningkat jika suhunya naik yaitu pada :

- 20°C sama dengan 0.4x10⁻⁶ Ωm.
- 500 °C sama dengan 1.2x10⁻⁶ Ωm.
- 1000 °C sama dengan 2.3x10⁻⁶ Ωm.
- 1300 °C sama dengan 2.9x10⁻⁶ Ωm.
- 1600 °C sama dengan 3.5x10⁻⁶ Ωm.

Koefisien temperatur rata – rata nya sama dengan 0.0048.

(Rahmat, 2015).

Elemen pemanas berbentuk coil dengan dimensi seperti **Gambar 2.11** dengan panjang yang dapat ditentukan menggunakan Persamaan 2.1 berikut. (Tonk, 1946)

$$L = \frac{(l \times \pi \times (D+d))}{(1000 \times d \times s/d)} \quad 2.1$$

Keterangan :

- L : Panjang kawat pada coil (m)
- d : diameter kawat (mm)
- D : diameter internal (mm)
- L : panjang coil (mm)
- s : jarak tiap coil (mm)

Sedangkan kerekatan pada coil elemen pemanas dapat diketahui dengan Persamaan 2.2.

$$X = \frac{Lxdx1000}{\pi x(D+d)} \quad 2.2$$

Dan untuk regangan coil sebagaimana Persamaan 2.3.

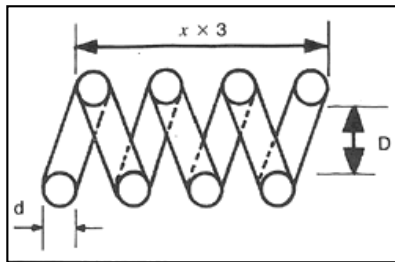
$$X' = X \times i \quad 2.3$$

Keterangan :

X : panjang kerekatan coil (mm)

X' : Panjang regangan coil (mm)

i : rasio regangan (2,5)



Gambar 2.11 Dimensi Coil Elemen Pemanas (Riken, 2008)

Pada umumnya magnitudo dari daya beban ke elemen pemanas ditunjukkan dalam energi listrik per unit area dari elemen pemanas disebut juga *surface load concentration*. Dengan Persamaan 2.4.

$$W_d = P/A \quad 2.4$$

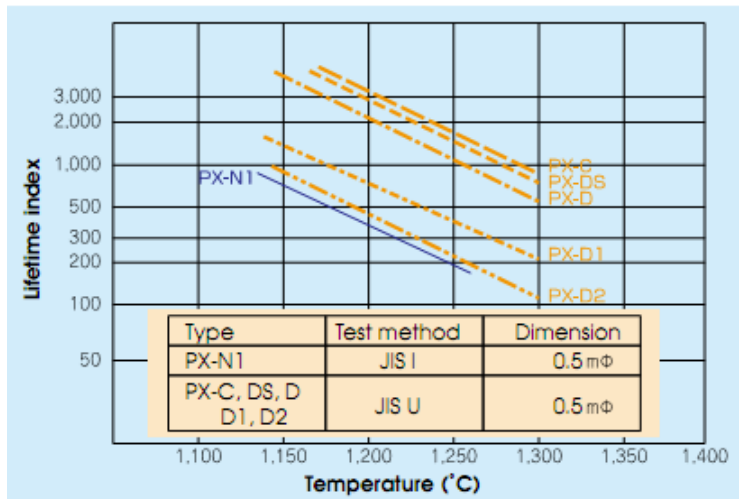
Keterangan :

P : Daya (W)

A : luas permukaan elemen pemanas (cm²)

W_d : konsentrasi beban permukaan (cm²)

Terdapat hubungan antara temperature dan *lifetime* dari elemen pemanas sehingga dapat dilihat kapan suatu elemen pemanas perlu di perbaiki.seperti pada **Gambar 2.12**



Gambar 2.12 Kurva *Lifetime* Elemen Pemanas (Riken, 2008)

Energi dibutuhkan untuk meningkatkan temperatur dari material, sehingga temperatur dapat berubah (Puram, 2010). konsumsi energi dapat dinyatakan dengan Persamaan 2.5. (Tonk, 1946)

$$C = \frac{m}{Q} \quad 2.5$$

Keterangan :

C : konsumsi energi

m : kuantitas massa material

Q : kuantitas panas

- Refraktori

Pada *furnace* dengan temperatur tinggi dibutuhkan lapisan refraktori (**Gambar 2.13**) yang sesuai dengan sifat psiko-kimia-termal yang dibutuhkan, kemudian untuk menyimpan energi yang lebih efisien. Kebanyakan material refraktori dibuat dengan lapisan lebih dari satu dengan ketebalan yang berbeda beda. Dikarenakan material refraktori akan berhadapan dengan reaksi dalam *furnace*,

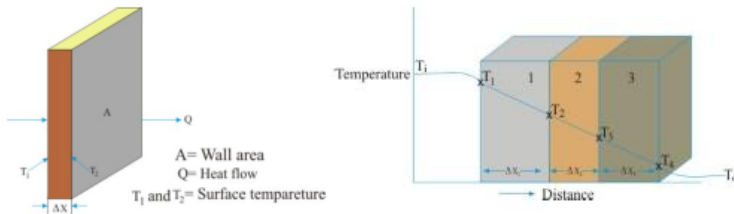
maka material refraktori harus memiliki sifat seperti porositas yang rendah, tidak bereaksi dengan reaksi kimia, konduktifitas termal yang rendah, dan sifat refraktorinya tinggi. Ketebalan yang optimum merupakan salah satu hal yang sangat penting, selain dalam penghematan pengeluaran, juga mengontrol efisiensi energi dalam *furnace* tersebut (*Refractori Design in Furnace*).

Untuk area yang konstan dengan aliran panas dan konduktifitas termal yang konstan, maka aliran panas dapat ditulis dengan keadaan *steady state* sebagaimana Persamaan 2.6

$$Q = -\frac{KA}{\Delta x}(T_2 - T_1) \quad 2.6$$

Jika nilai K berubah terhadap temperatur maka Persamaan menjadi Persamaan 2.7

$$Q = -\frac{K_0 A}{\Delta x}[(T_2 - T_1) + \frac{\beta}{2}(T_2^2 - T_1^2)] \quad 2.7$$

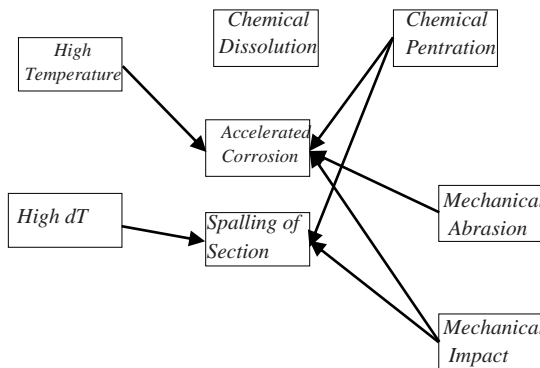


Gambar 2.13 Perpindahan Panas Pada Refraktori Atau Insulasi
(Sumber: *Refractori Design in Furnace*)

Jika material refraktori lebih dari satu lapisan seperti **Gambar 2.20** maka berlaku Persamaan 2.8.

$$Q = \frac{T_1 - T_0}{\frac{1}{h_1} + \frac{1}{A} \sum \frac{\Delta x_i}{K_i} + \frac{1}{h_0 A}} \quad 2.8$$

Dalam pemilihan material refraktori ada dua hal yang menjadi acuan agar material yang dipilih optimum. Yang pertama adalah desain terhadap sifat termal – mekanik – kemikal (TMC) dan yang kedua adalah total harga yang dikeluarkan oleh pemilik atau *total cost of ownership*



Gambar 2.14 Sifat – Sifat Yang Dibutuhkan Pada Pemilihan Refraktori (Vert, 2016)

Ketiga atau kombinasi dari sifat tersebut harus didesain dengan seimbang agar sifat yang dihasilkan optimum seperti **Gambar 2.14** (Vert, 2016)

Ketebalan dari insulasi dibutuhkan untuk mengurangi *heat loss* dan berhubungan dengan temperatur sebagaimana Persamaan 2.9. (Incropera, 2007)

$$L_{ins} = K_{ins} \left[AR_{Tot} - \frac{L_s}{K_s} - \frac{1}{h_r - h} \right] \quad 2.9$$

- Termokopel

Sensor termokopel secara fisik merupakan dua kawat yang disusun dari dua logam yang berlainan dan disambung pada kedua ujungnya sehingga membentuk junction seperti pada **Gambar 2.15**. Dengan tipe – tipe sebagaimana **Tabel 2.4**. Apabila junction sensor terkena panas akan menimbulkan efek tegangan yang sebanding dengan panas yang diterimanya. Efek yang terjadi pada sambungan logam dinamakan efek seebeck yang ditemukan oleh Thomas Seebeck pada tahun 182 I. Apabila pada junction sensor termokopel terkena panas, maka pada kawat akan timbul tegangan seebeck yang merupakan fungsi hubungan antara suhu dan

komposisi kedua logam. Untuk perubahan suhu kecil dalam tegangan seebeck seeara linier akan sebanding terhadap suhu, sehingga akan diperoleh hubungan Persamaan 2.10 . (Triyono, 2008)

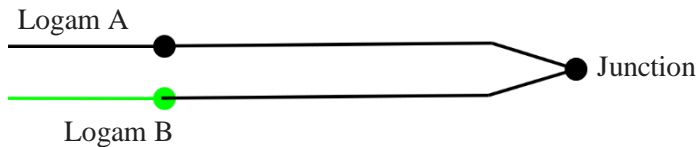
$$\Delta e_{AB} = \alpha \cdot \Delta T \quad 2.10$$

Keterangan :

Δe_{AB} = merupakan selisih tegangan eAB

ΔT = perbedaan suhu

α = koefisien seebeck



Gambar 2.15 Tegangan Seebeck Pada Dua Logam A Dan B

Tabel 2.4 Tipe – Tipe Termokopel
(<https://www.thermocoupleinfo.com/>)

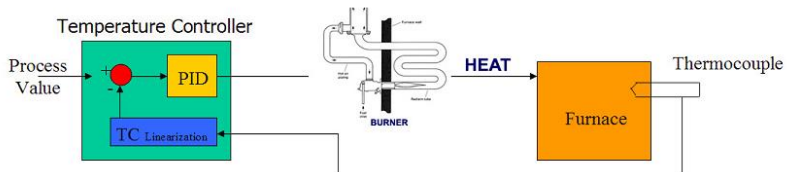
No.	Tipe	Bahan	Range Temperatur (°C)		Akurasi	
			Grade Wire	Extension Wire	Standard	Limits of Error
1	K	Nickel-Chromium/ Nickel Alumel	-270 to 1260	0 to 200	+/- 2.2C or +/- 0.75%	+/- 1.1C or 0.4%
2	J	Iron/ Constantan	-210 to 760	0 to 200	+/- 2.2C or +/- 0.75%	+/- 1.1C or 0.4%

3	T	Copper/ Constantan	-270 to 370	0 to 200	+/- 1.0C or +/- 0.75%	+/- 0.5C or 0.4%
4	E	Nickel- Chromium/ Constantan	-270 to 870	0 to 200	+/- 1.7C or +/- 0.5%	+/- 1.0C or 0.4%
5	N	Nicrosil/ Nisil	-270 to 392	0 to 200	+/- 2.2C or +/- 0.75%	+/- 1.1C or 0.4%
6	S	Platinum Rhodium- 10%/ Platinum	-50 to 1480	0 to 200	+/- 1.5C or +/- 0.25%	+/- 0.6C or 0.1%
7	R	Platinum Rhodium - 13% / Platinum	-50 to 1480	0 to 200	+/- 1.5C or +/- .25%	+/- 0.6C or 0.1%
8	B	Platinum Rhodium – 30% / Platinum Rhodium – (6%)	0 to 1700	0 to 100	+/- 0.5%	+/- 0.25%

Waktu *increment* ini harus di sesuaikan dengan kapasitas arus yang dimiliki agar penggunaannya tidak membahayakan. Item panas adalah Persamaan empiris yang diperoleh dari pengalaman dan penting untuk prediksi suhu tungku.

Untuk mengontrol temperatur dalam *furnace* digunakan *temperature controller* dengan skema seperti **Gambar 2.16**. *Temperature controller* mendapatkan *input* dari termokopel yang ditempatkan di dalam *furnace* dan mengirim langkah perintah yang

dibutuhkan oleh elemen pemanas untuk menjaga *setpoint* temperatur.



Gambar 2.16 Skematik Temperature Controller Pada Frunace
(Purushothaman, 2008)

Untuk keseragaman temperatur *furnace* harus dikalibrasi dengan tepat. Jika, misalnya, diperlukan keseragaman suhu ± 5 K pada suhu yang ditetapkan 750°C , itu berarti bahwa suhu yang diukur dapat berkisar dari minimum 745°C hingga maksimum 755°C di ruang kerja. (Nobetherm)

- Kalibrasi Termokopel

Dalam penggunaan pembaca temperatur atau termokopel pada *Continuous Furnace* kemampuan membaca dari termokopel itu sendiri harus terbukti valid sehingga data temperatur yang didapatkan dapat dipercaya.

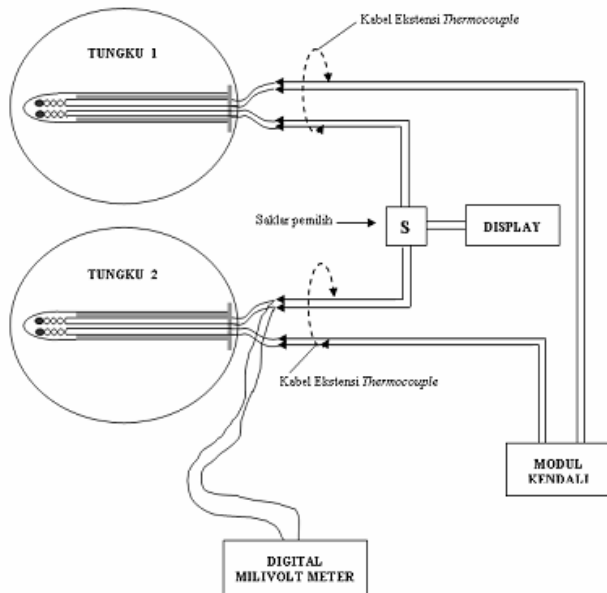
Ketika akurasi tinggi dibutuhkan, kawat *thermocouple* harus dibuat lebih panjang hingga ke instrumen display temperatur, hal ini akan mengeliminasi kesalahan yang mungkin ada akibat penggunaan kawat ekstensi yang tidak memiliki karakteristik temperature-emf identik dengan *thermocouple*-nya.

Analisa unjuk kerja *thermocouple* dilakukan dengan mengukur emf (mV) yang dibangkitkan dan membandingkannya dengan temperatur yang ditunjukkan oleh rekorder. Rekorder diasumsikan sudah memiliki factor konversi yang standar (oleh pabrik pembuat).

Pengukuran emf dilakukan pada *lead thermocouple* (titik sambung antara kawat *thermocouple* dengan kabel ekstensi yang menghubungkannya dengan switching) *Furnace 2* dengan

menggunakan pengukur milivolt digital, pada setiap kenaikan temperatur 100oC emf yang dibangkitkan dicatat beserta parameter arus dan tegangan autotrafo selanjutnya data tersebut di tabelkan. Rangkaian pengukuran emf pada lead *thermocouple furnace* 2 diperlihatkan pada **Gambar 2.17**.

Menurut Agus Sukarto Wismogroho (2018) peneliti LIPI Fisika, semua produk termokopel perlu dikalibrasi agar hasilnya valid, karena susah untuk di kontrol pada pembacaan temperatur, selisih ± 5 °C dari temperatur acuan menjadi nilai toleransi.



Gambar 2.17 Pengukuran Emf Pada Keluaran Thermocouple *Furnace* 2 (Sutarya, 2008)

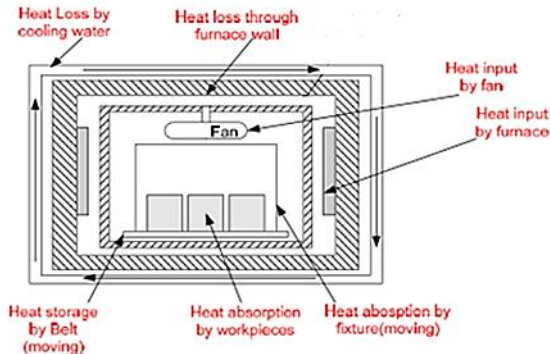
2.3.3 Desain dan perhitungan

- Panas Pada *Furnace*

Energy merupakan salah satu indikator atau cara untuk menentukan *furnace* berjalan sesuai dengan sistem yang dibuat

dengan rancangan yang efisien atau dengan kata lain energi yang diberikan seimbang dengan energi yang digunakan. (Jonas, 2017)

Perhitungannya berkaitan dengan kondisi statis. Karenanya keseimbangan panasnya dinamis. Diasumsikan suhu tungku tidak bervariasi untuk memuat perubahan. Jadi penyimpanan panas di tungku tidak perlu dihitung. (**Gambar 2.18**) Istilah panas hanya mengacu pada input panas, penyerapan panas oleh beban dan aksesoris yang bergerak dan kehilangan panas. Struktur dan aksesoris tungku diklasifikasikan ke dalam dua jenis: bergerak dan tetap / bergetar. Asesoris yang bergerak menghilangkan panas sementara asesoris yang tetap atau bergetar tidak menghilangkan panas.



Gambar 2.18 Analisa Panas Pada *Continuous Furnace*
(Purushothaman, 2008)

Total *energy* atau *heat* pada *furnace* akan seimbang, oleh karena itu Persamaan *heat balance* pada setiap zona adalah Persamaan 2.11.

$$Q_{input} = Q_{Load_p} + Q_{fix_p} + Q_{belt_p} + Q_{wall\ loss_p} + Q_{open\ loss_p} + Q_{adjacent_p} + Q_{shell\ cooling_p} - Q_{fan_p} \quad 2.11$$

Keterangan:

Q_{input} = Panas yang masuk pada *furnace* oleh elemen pemanas

p = Zona “p” dalam *furnace*

Q_{fan_p}	= Panas masuk yang diberikan kipas
Q_{load_p}	= Panas yang diserap muatan
Q_{fix_p}	= Panas yang diserap oleh <i>fixture</i>
Q_{belt_p}	= Panas yang diserap oleh belt
$Q_{wall\ loss_p}$	= Panas yang hilang dari dinding <i>furnace</i>
$Q_{open\ loss_p}$	= Panas yang hilang akibat pintu yang terbuka
$Q_{adja cent_p}$	= Panas yang hilang antar zona dari ujung <i>furnace</i> akibat perpindahan panas
$Q_{shell\ cooling_p}$	= Panas yang diserap oleh pendingin <i>furnace</i>

Hasil perhitungan di atas dibandingkan dengan daya dari *furnace* jika melebihi daya maka keseimbangan panas tidak dapat dipertahankan.

Heat balance dihitung ketika satu siklus kerja selesai dilakukan. Kemudian penyerapan dari setiap zona dihitung berdasarkan hubungan antara tujuan perhitungan dan panjang zona. Istilah temperatur ini adalah fungsi temperatur *furnace*. Input panas juga harus dihitung secara langsung oleh input panas yang terhubung dan koefisien panas yang tersedia.

1. Panas yang masuk

Panas yang masuk merupakan total panas yang diberikan agar besar panas pada muatan dapat mencaai sesuai dengan sifat yang akan dicapai. Namun karena suatu *furnace* terdiri dari beberapa komponen - komponen yang terkena dampak pemanasan tersebut, maka nilai panas yang masuk harus mempertimbangkan panas yang hilang dari komponen lainnya sebagaimana Persamaan 2.12

$$Q_{max_in_p} = K_{AH} q_{conn} \frac{L_p}{V} \quad 2.12$$

K_{AH} merupakan koefisien panas yang mungkin diberikan, untuk sistem pemanas elektrik nilainya adalah satu. Q_{conn} merupakan panas yang dibutuhkan muatan. Sementara L_p dan V masing masing adalah panjang zona *furnace* dan kecepatan muatan bergerak.

2. Panas yang diserap muatan

Muatan merupakan material yang menjadi objek dalam pemanasan *furnace* tersebut. Oleh karena itu kebanyakan panas yang diberikan akan paling banyak dipakai untuk memanaskan muatan tersebut sebagaimana Persamaan 2.13.

$Q_{load_p} = n_{domain} \sum_{i=1}^{n_{row}} \sum_{j=1}^{n_{col}} \sum_{k=1}^{n_{lay}} (wc)_{wp} (T_{i,j,k}^{m+1} - T_{i,j,k}^m) 2.13$
 n_{row} , n_{col} , n_{lay} merupakan jumlah baris, coloumn, dan layer dalam perhitungan domain, sementara i, j, dan k merupakan jumlah muatan, sementara m, menunjukkan lama langkah waktu. Kemudian n_{domain} dihitung dengan membagi panjang zona_p *furnace* dengan panjang domain sebagaimana Persamaan 2.14.

$$n_{domain} = \frac{L_p}{L_{domain}} \quad 2.14$$

3. Panas yang diserap *Fixture*

Fixture merupakan alat yang digunakan sebagai wadah muatan yang memegang atau menampung muatan secara langsung dan ikut bergerak dengan muatan melalui conveyornya. Temperatur *fixture* selalu atau dianggap sama dengan temperatur muatan yang paling cepat terpanasi. W adalah berat *fixture* dan c adalah nilai spesifik panas dari *fixture* sebagaimana Persamaan 2.15.

$$Q_{fix_p} = (wc)_{fix} (T_{fix}^{m+1} - T_{fix}^m) \quad 2.15$$

4. Panas yang diserap belt

Dalam hal ini temperatur belt diasumsikan sama dengan temperatur muatan yang paling cepat terpanasi. Dimana L_p merupakan panjang zona_p *furnace* tersebut sebagaimana Persamaan 2.16.

$$Q_{belt_p} = \frac{L_{domain}(wc)_{belt}}{\sum_{i=1}^{n_{row}} \sum_{j=1}^{n_{col}} \sum_{k=1}^{n_{lay}} (wc)_{wp}} Q_{load_p} \quad 2.16$$

5. Panas yang hilang dari Dinding *Furnace*

Dinding *furnace* berada dekat dengan elemen pemanas sehingga terkena efek langsung panas dan menyerap panas. Dimana t_1 dan t_2 merupakan ketebalan dari bahan atau dinding dengan material 1 dan 2. Kemudian k_1 dan k_2 merupakan konduktifitas panas dari masing masing penyusun dinding *furnace*

tadi. Lalu, α , merupakan difusivitas termal dari bagian luar *furnace* ke kondisi kamar sebagaimana Persamaan 2.17.

$$Q_{wall\ loss_p} = 2(L_p W_p + L_p H_p + H_p W_p) \frac{T_p - T_a}{\frac{1}{h_i} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_o}} \frac{L_p}{v} \quad 2.17$$

6. Panas yang hilang akibat Dinding Terbuka

Panas yang hilang ini karena adanya perbedaan temperatur dalam *furnace* dengan udara terbuka akibat bagian *furnace* yang terbuka sehingga ada perpindahan panas secara radiasi. Dimana σ adalah konstanta Stefan-Boltzman, ε merupakan nilai emisivitas dari dinding *furnace*, A_{open} merupakan luasan daerah yang terbuka dan T_a merupakan temperatur lingkungan sebagaimana Persamaan 2.18.

$$Q_{open\ loss_p} = \sigma \varepsilon A_{open} \frac{L_p}{v} ((T_{zone_p}^m)^4 - (T_a)^4) \quad 2.18$$

7. Perpindahan panas pada Zona yang berdekatan

Dengan adanya perbedaan temperatur antara zona dalam *furnace* maka akan terjadi transisi panas atau perpindahan panas antara zona yang berdekatan. Dimana $A_{section}$ merupakan luas daerah perpotongan antar zona sebagaimana Persamaan 2.19

$$Q_{adjacent_p} = \sigma \varepsilon A_{section} \frac{L_p}{v} ((T_p^m)^4 - (T_{p+1}^m)^4) + (T_p^m)^4 - (T_{p-1}^m)^4 \quad 2.19$$

Untuk menghemat daya yang digunakan dalam menaikkan temperatur harus diatur agar lebih efisien. Rata-rata kenaikan temperatur *furnace* dalam langkah waktu kecil dapat dihitung dengan Persamaan 2.20.

$$T_{fce}^{inc} = \frac{Q_{fce}^{inc} \cdot \delta \tau}{\sum_{i=1}^N (\rho_i \cdot c \rho_i \cdot V_i)} \quad 2.20$$

Dimana,

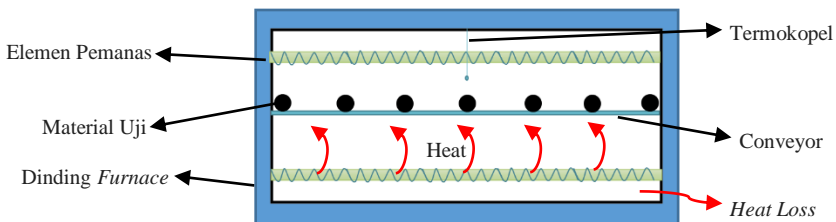
T_{fce}^{inc}	adalah temperatur <i>furnace</i> rata – rata
Q_{fce}^{inc}	adalah penyimpanan rata – rata fluks panas pada <i>furnace</i> , <i>superscript inc</i> berarti <i>increment</i>
$\delta \tau$	adalah interval waktu
$\rho_i \cdot c \rho_i \cdot V_i$	adalah <i>density</i> , panas spesifik, dan volume aksesoris pada <i>furnace</i>

Aksesori ini termasuk semua komponen yang terlibat dalam proses perlakuan panas kecuali material uji.

- Heat loss

Furnace adalah peralatan paling penting yang digunakan dalam proses perlakuan panas. *Heat treatment furnace* dengan penginderaan suhu yang efektif, kapasitas penahan panas dan lingkungan terkendali diperlukan agar operasi perlakuan panas dapat berhasil dilakukan. Beberapa proses memerlukan siklus panas untuk jangka waktu beberapa menit hingga beberapa jam tergantung pada bahan dan properti yang diinginkan. (Alaneme & Olarewaju, 2010)

Prinsip kerja keseluruhan *furnace* secara sederhana ditunjukkan pada **Gambar 2.19**.



Gambar 2.19 Prinsip Kerja *Furnace*

Panas akan dibebaskan oleh pembakaran bahan bakar dan oksigen, atau dari energi listrik dan beberapa perpindahan panas kepada produk. Panas yang sisa akan lepas/meninggalkan bersamaan dengan gas sisa dan melalui pintu yang terbuka atau pada permukaan dinding *furnace*. (Jonas, 2017) Sehingga efisiensi *furnace* dapat dihitung dengan Persamaan 2.21 kemudian Persamaan 2.22.

$$Q = m C_p (t_1 - t_2) \quad 2.21$$

$$\dot{\eta} = \frac{Q_i}{Q_o} \quad 2.22$$

Keterangan:

$$\dot{\eta} = \text{Furnace Eficiency}$$

- Q_i = Panas input
 Q_o = Panas output
 m = Massa material yang dipanaskan
 C_p = Spesifik Heat material yang dipanaskan
 t_1 = Temperatur akhir dari material
 t_2 = Temperatur awal dari material

Metode perhitungan efisiensi di atas dinamakan perhitungan *Direct Method* atau perhitungan secara langsung. Metode yang berikutnya adalah *Indirect Method*. Metode ini menghubungkan antara panas yang diberikan dengan panas yang hilang dari komponen komponen *furnace* tersebut. Sesuai dengan Hukum Termodinamika II, dimana dari energi yang diberikan tidak semua dinonversi menjadi produk, tetapi akan ada yang terbuang ke atmosfer. Hal itu juga berlaku pada sistem pembakaran *furnace*. Panas yang hilang meliputi:

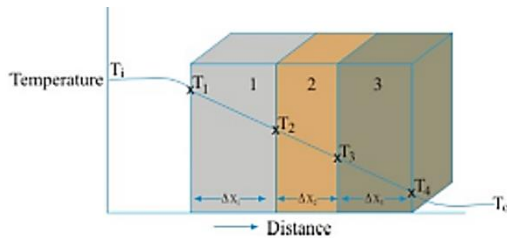
1. *Stored Heat loss*

Konstruksi *furnace* melibatkan banyak komponen, komponen utama dalam konstruksi *furnace* akan terdampak panas sehingga harus mempertimbangkan kehilangan panas dan juga distribusi panas yang merata pada ruang *furnace* juga harus tetap di jaga. Panas tersebut disimpan dalam *furnace* hingga *furnace* mati dan menyesuaikan dengan temperatur lingkungan. Panas yang berpengaruh pada material bergantung pada massa, panas laten dan kapasitas panas. Sehingga dari faktor tersebut, faktor intrinsik yang paling berpengaruh. Sehingga untuk meningkatkan panas yang tersimpan akibat pengaruh *furnace* adalah dengan:

- Membuat sistem insulasi yang baik, dengan efisiensi yang tinggi.
- Menggunakan sistem rekuperator dan regenerator untuk meningkatkan panas selain dari sumber panas.
- Menghitung jumlah muatan yang efisien dan efektif dalam *furnace* tersebut.

2. Wall Losses

Perbedaan temperatur antara *furnace* dan lingkungan mengakibatkan fenomena perpindahan panas secara konduksi melalui dinding dan atap *furnace* mengakibatkan panas keluar atau hilang dari *furnace* (**Gambar 2.20**). Sementara panas yang hilang atau keluar dari dinding tersebut akan terbuang atau dibawa oleh udara, sehingga untuk memperoleh panas yang dituju pada produk, energi yang diberikan haruslah ditambahi.



Gambar 2.20 Perpindahan Panas Pada Dinding *Furnace*
(Sumber: *Refractory Design in Furnace*)

Pada dinding *furnace* terjadi perpindahan panas secara konveksi, konduksi dan radiasi. Sehingga faktor yang sangat berpengaruh adalah emissivitas dinding, konduktivitas termal material dinding, ketebalan dinding dan apakah *furnace* digunakan secara bertahap atau kontinu. Sehingga solusi yang ditawarkan untuk mengurangi panas yang hilang akibat dinding *furnace* adalah dengan memodifikasi perpindahan panas dengan mengubah:

- Temperatur dinding *furnace*, dengan tingginya temperatur dinding *furnace*, panas yang hilang akan semakin tinggi.
- Temperatur luar *furnace*, dengan semakin rendahnya temperatur lingkungan, panas yang hilang semakin tinggi.
- Arah permukaan, menghadap kebawah panas yang hilang lebih rendah, sementara permukaan keatas panas yang hilang lebih tinggi.

- d. Kecepatan angin, dengan semakin cepat kecepatan angin yang melalui *furnace* maka panas yang hilang semakin tinggi pula.
- e. Nilai emisiviti, nilai emisiviti yang besar akan mengakibatkan panas yang hilang semakin tinggi.

Kuantitas panas yang hilang dari permukaan badan *furnace* adalah jumlah dari konveksi alami dan radiasi termal. Kuantitas tersebut dapat dihitung dari temperatur permukaan *furnace*. Titik pengukuran temperatur *furnace* harus sebanyak mungkin kemudian dirata-rata untuk menghindari nilai error yang besar (Puram., 2010). Dengan Persamaan 2.23

$$Q = a \times (t_1 - t_2)^{5/4} + 4,88E \left[\left(\frac{t_1 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_2 + 273}{100} \right)^4 \right] \quad 2.23$$

Keterangan :

Q : kuantitas pelepasan panas (kcal/W/m²)

a : faktor konveksi natural

t₁ : temperatur dinding luar *furnace* (°C)

t₂ : temperatur udara sekitar *furnace* (°C)

E : emisivitas dinding *furnace*

3. Radiasi akibat sistem yang terbuka

Furnace dapat digunakan pada temperatur menengah dan tinggi. Panas yang hilang membuat *furnace* tidak setimbang, maka energi harus diperbesar. Dengan terbukanya sistem pada *furnace* mengakibatkan terjadinya fenomena radiasi. Berdasarkan rumus sederhana laju perpindahan panas secara radiasi, perpindahan panas akan terjadi jika ada perbedaan temperatur antara surface dengan lingkungannya melalui luas penampang yang dilalui. Namun perpindahan radiasi, ada gaya elektromagnetik yang menyebabkan perpindahan panas tersebut. Hal tersebut dipengaruhi oleh emisivitas permukaan sumber panas. Sehingga jika dihubungkan dengan panas yang hilang akibat radiasi, maka akan didapatkan panas hilang dengan jumlah yang cukup banyak. Dengan Persamaan 2.24.

$$Q = \varepsilon \sigma A (T_s^4 - T_{sur}^4) \quad 2.24$$

Panas yang hilang cukup besar dikarenakan rumus temperatur berpangkat 4, dan semakin tinggi perbedaan temperatur *furnace* dengan lingkungan semakin besar potensi kehilangan panas dan kerugiannya. Oleh karena itu untuk mengurangi panas yang hilang akibat perpindahan panas itu perlu dilakukan dengan (Industrial Technologies Program):

- a. Menghilangkan area yang terbuka pada *furnace*, atau tetap ada area yang terbuka, namun dengan waktu buka yang singkat. Pengecualian untuk *Continuous Furnace* yang memang harus memiliki area yang terbuka pada proses produksinya sebagai masuk dan keluarnya muatan.
- b. Mengecilkan luas penampang A atau area yang terbuka, sehingga panas yang hilang cukup tereduksi. Metode lainnya adalah menggunakan sistem perpanjangan atau terowongan.
- c. Menggunakan sistem tirai pada area yang terbuka dengan material ceramic yang fleksibel, sehingga panas yang berpindah dapat dikurangi.
- d. Menggunakan material dengan emisivitas yang sekecil mungkin, namun dengan efisiensi ekonomi yang telah dipertimbangkan. Material dengan emisivitas yang rendah contohnya adalah Polished Copper atau Polished Stainless Steel

Jika badan *furnace* mempunyai bagian yang terbuka panas pada *furnace* dapat keluar dengan cara radiasi. *Heat loss* dari bagian terbuka dapat dihitung dengan radiasi *black body* pada temperatur *furnace* (**Gambar 2.21**), dan mengalikan nilai ini dengan emisivitas, dan faktor radiasi dari radiasi bagian terbuka pada **Gambar 2.22**, seperti yang dinyatakan dalam Persamaan 2.25

$$Q_o = R \times A_o \times h \times \varepsilon \quad 2.25$$

Keterangan :

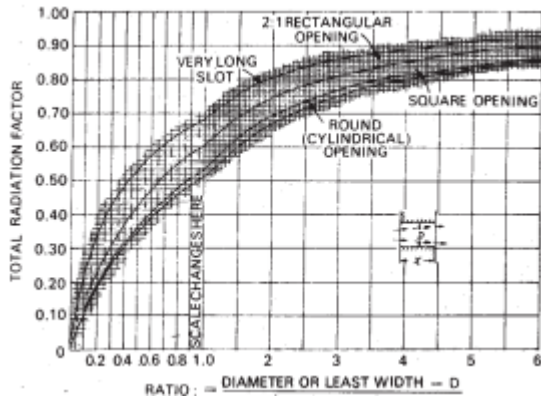
Q_o : *heat loss* bagian terbuka (Kcal/hr)

R : *Black body radiation* (Kcal/cm²/hr)

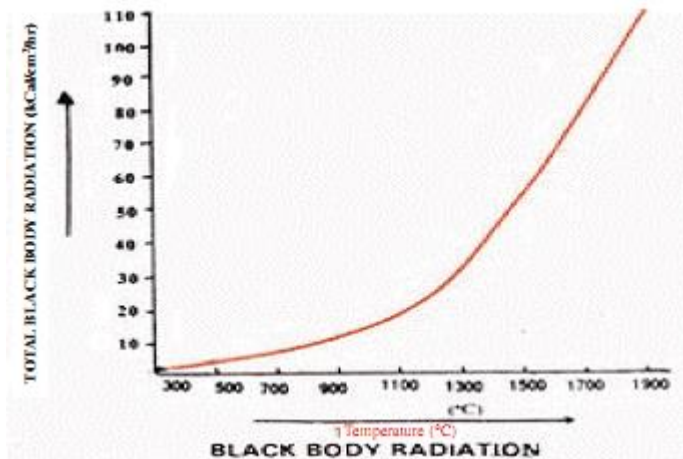
A_o : Area terbuka (cm²)

h : Faktor radiasi

ε : emisivitas



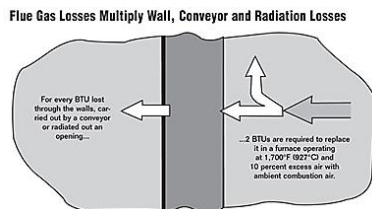
Gambar 2.21 Faktor Yang Menggambarkan Ekuivalensi Pelepasan Panas Dari Bagian Terbuka (Bureau of Energy Efisinesi)



Gambar 2.22 Grafik Yang Menggambarkan Radiasi *Blck Body* (Bureau of Energy Efisinesi)

4. *Waste-gas Losses*

Gas buang merupakan panas yang tidak dapat dihilangkan dari hasil pembakaran dalam *furnace*. Hal ini mengakibatkan panas mengalir dari sumber temperatur tinggi ke penerima temperatur yang lebih rendah. Secara sederhana gas buang atau sisa ini merupakan panas yang lebih. Suatu perpindahan energi memiliki batasan seberapa besar energi yang dipindahkan. Sehingga ketika suatu energi tersebut telah mencapai batasannya, maka energi yang belum dikonversi atau digunakan tetapi sudah diberikan akan hilang atau keluar lewat saluran gas buang seperti mekanisme pada **Gambar 2.23**.



Gambar 2.23 Mekanisme Waste - Gas Losses
(Sumber: *Waste Heat Recovery*, 2009)

Untuk mengurangi panas yang hilang ini dapat digunakan alternatif seperti:

- Mengurangi temperatur gas keluaran dari saluran buang.
- Mengurangi volume gas buang dengan memperhitungkan perbandingan antara bahan bakar dengan oksigen untuk mengendalikan konsumsi bahan bakar.
- Menggunakan udara pembakaran yang kaya dengan oksigen, dengan meningkatnya persentase kandungan oksigen volume gas buang akan lebih sedikit kemudian dapat menghemat bahan bakar pula.

- d. Meminimalisir adanya celah atau lubang sebagai saluran panas keluar, sehingga perlu adanya sistem monitoring kebocoran.
- e. Selain untuk mengurangi panas yang hilang dari gas buang tersebut, panas buang dari gas buang tersebut dapat digunakan kembali (*recovery*) sehingga meningkatkan efisiensi *furnace* itu kembali. Ada empat cara yang dapat digunakan untuk menggunakan panas tersebut kembali (*Waste Heat Recovery*, 2009):
 - Recuperator, sistem *heat exchanger* dengan mekanisme siklik
 - Regenerator
 - *Waste Heat Boiler*
 - *Direct Recovery* terhadap muatan

Total kehilangan panas akan dikurangi seratus persen, kemudian diperoleh persentase efisiensi akhir dari *furnace* secara keseluruhan. Sebagai indikator bahwa sistem yang digunakan pada *furnace* tersebut berjalan sesuai desain yang digunakan.

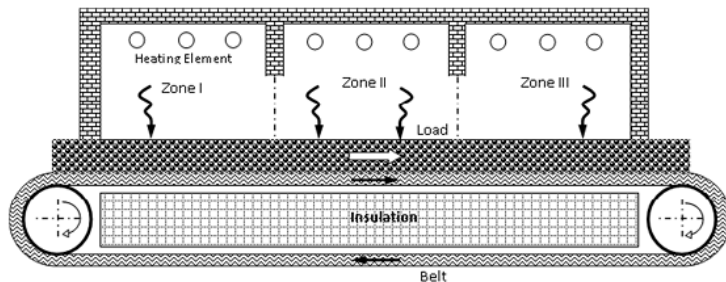
2.4 Continuous Furnace Frangible Bullet

Continuous Furnace adalah pilihan yang tepat untuk proses dengan waktu siklus yang tetap. *Continuous Furnace* tersedia untuk berbagai temperatur hingga maksimum 1400 ° C. Desain *furnace* tergantung pada throughput yang diperlukan, persyaratan proses untuk perlakuan panas dan waktu siklus yang diperlukan. (Nabertherm). *Continuous Furnace* menawarkan peluang yang lebih besar untuk pemulihan energi dan meminimalkan panas yang hilang pada penutupan mulut tanur. (Peter Mullinger, 2008)

Continuous Furnace dalam pemanasan bahan besi untuk *hot working*, ruang *furnace* terdiri dari zona *preheating*, *heating* dan *soaking* (**Gambar 2.24**). Materi masuk melalui zona *preheating* dan keluar dari zona *soaking* selama rolling. Tetapi aliran produk pembakaran ada di arah sebaliknya. Desain *furnace* adalah jenis pemulihan di mana material keluar pada suhu yang diinginkan dari zona *soaking* dan produk pembakaran melepaskan zona *preheating*

pada suhu serendah mungkin. Berbagai jenis *furnace* kontinu sedang digunakan, seperti jenis balok berjalan, tipe pusher, tipe *furnace* rol, dll. (Peter Mullinger, 2008)

Secara umum komponen utama *furnace* adalah energi pemanas dan material isolator atau refraktori, dua komponen tersebut menjadi pertimbangan dalam merancang *batch furnace*. Namun jika berbicara mengenai *Continuous Furnace*, *furnace* tersebut mempunyai *sistem handling* yang digunakan agar prosesnya dapat berjalan secara otomatis dan kontinu. Sehingga diperlukan komponen lainnya yaitu konveyor. Konveyor ini akan digunakan untuk menggerakkan muatan yang dipanasi dalam *furnace*, mulai dari masuk sampai keluar atau selesai diberi perlakuan. Dengan sistem ini kinerja *Continuous Furnace* akan lebih optimum dalam hal produksi, karena berjalan dengan *continuous* dan otomatis. (Jonas, 2017)



Gambar 2.24 Skematik Zona Pada *Furnace*
(Alaa A. Hassan, 2012)

2.4.1 Konveyor

Konveyor digunakan untuk menggerakkan material pada saat pemanasan dalam *furnace* mulai dari awal sampai muatan selesai dipanasi secara kontinu. Konveyor yang baik adalah konveyor yang sesuai dengan lingkungan *furnace*, dan kapasitasnya sesuai dengan perancangan awal. Sehingga dalam merancang konveyor untuk *furnace* diperlukan langkah langkah seperti :

1. Menentukan material konveyor, komposisi belt konveyor dibagi menjadi dua bagian yaitu:

- a. Carcass, bagian konveyor yang harus cukup kuat untuk menahan tarikan dan menahan beban atau muatan dalam konveyor
- b. Penutup, bagian konveyor yang membutuhkan sifat fisik dan ketahanan terhadap kimia untuk melindungi carcass sehingga menjadi salah satu bagian yang dapat memperpanjang umur konveyor.
2. Menentukan panjang belt
Dengan menggunakan Persamaan 2.26 dapat ditentukan panjang belt

$$L = \frac{D+d}{2} \times 3,1416 + 2C \quad 2.26$$

Keterangan :

- L : Panjang belt (mm)
D : Diameter katrol (mm)
d : diameter ekor katrol (mm)
C : jarak pusat ke pusat (mm)

(Anchor, 2019)

3. Menentukan kapasitas belt, untuk memperoleh efisiensi yang besar, konveyor sebaiknya dioperasikan dengan muatan penuh pada konveyor. Kapasitas belt konveyor bergantung pada beberapa faktor seperti:
 - a. Lebar belt
 - b. Kecepatan belt
 - c. Massa jenis material
 - d. Kemiringan belt atau *furnace*

Berat produk maksimum pada belt dapat ditentukan dengan

Persamaan 2.27

$$W = \frac{G_2}{S \times 60(\text{min})} \times C \quad 2.27$$

Keterangan :

- W : berat produk pada belt (lbs)
 G_2 : beban per jam (lbs)
S : kecepatan konveyor (feet/min)
C : jarak pusat ke pusat (inchi)

4. Menentukan *belt power dan tension*

- a. *Belt Power* dihitung dengan Persamaan 2.28

$$P = \frac{F_c(L+t_f)(C+3.6QS)}{367} \pm \frac{CH}{367} \quad 2.28$$

Keterangan:

- | | |
|-----------------|-------------------------------------|
| F_c, F_e, F_l | = <i>Friction Factor</i> |
| L | = Panjang belt (m) |
| t_f | = <i>Terminal Friction</i> (t/h) |
| Q | = Massa muatan yang bergerak (kg/m) |
| S | = Kecepatan belt (m/s) |
| H | = Perubahan kemiringan (m) |
| K | = Drive Factor |

- b. Tegangan Efektif, T_e , dihitung dengan Persamaan 2.29.

$$T_e = \left[F_e(L + t_f)Q + F_l(L + t_f) \frac{C}{3.6S} + \frac{CH}{3.6S} \right] 9.81 \times 10^{-3} \quad 2.29$$

5. Diameter Pulley, diameter *pulley* minimum ditentukan dengan tiga faktor yaitu:

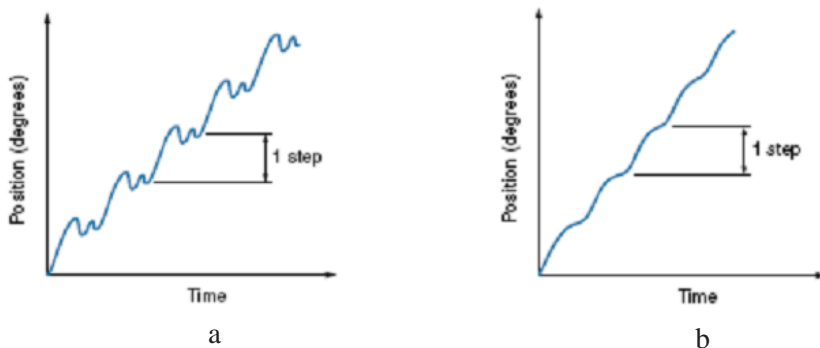
- Tebal *Carcass*, berhubungan dengan diameter *wire rope*, ketebalan *plie* dan *rubber skim*, dan ketebalan *woven fabric* atas dan bawah
- Tegangan Tarik Operasi, berhubungan dengan gaya tarik yang diijinkan
- Modulus *Carcass*, berhubungan dengan tegangan yang dihasilkan

Menentukan desain yang sesuai, terkait dengan jari jari lengkungan keatas dan mendatar. (Fenner Dunlop, 2009)

2.4.2 Motor Stepper

Motor stepper merupakan salah satu jenis motor yang banyak digunakan saat ini sebagai actuator, misalnya sebagai penggerak head baca/tulis pada disk drive yang akan menetapkan posisi head baca/tulis di atas permukaan piringan disket, penggerak head pada printer dan line feed control, dan yang lebih populer saat ini adalah aplikasi dalam bidang robotik. Dengan bantuan mikroprosesor atau mikrokontroler perputaran motor dapat dikontrol dengan tepat dan terprogram.

Motor *stepper* mempunyai dua mode operasi yaitu single step mode dan slew mode. Pada single step mode atau disebut juga bidirectional mode, frekuensi step cukup lambat untuk memperbolehkan rotor (hampir semua) berhenti di antara step. Pada *slew mode*, atau unidirectional mode, frekuensi step adalah cukup tinggi sehingga tidak mempunyai waktu untuk berhenti seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.25**.. (Syahrul, 2012).

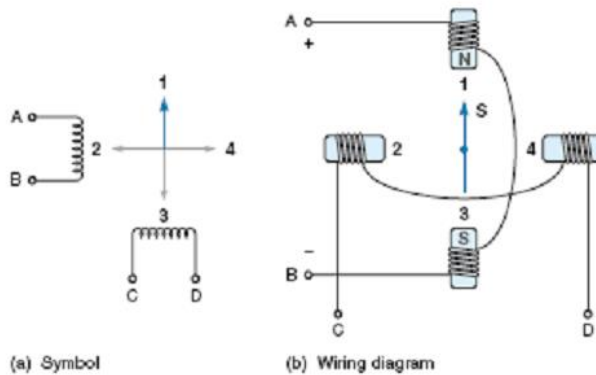


Gambar 2.25 a) Posisi Versus Waktu Untuk Single-Step Mode,
b) Posisi Versus Waktu Untuk Slew Mode
(Made , Hartono , & Wilma , 2017)

Ada 3 jenis motor stepper : motor stepper Magnet Permanen, Variable Reluctance dan Hybrid.

1. Motor Stepper Magnet Permanen
 - a. Motor Stepper Bipolar (Dua-phase)

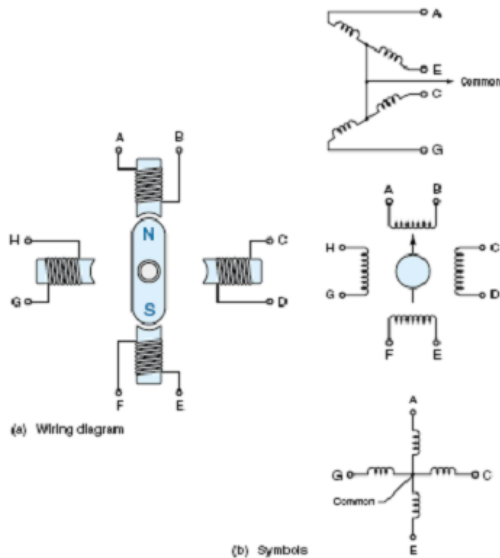
Penggunaan motor stepper jenis bipolar memerlukan rangkain yang agak lebih rumit untuk mengatur agar motor ini dapat berputar dalam dua arah. Rangkaian ini akan mengontrol setiap kumparan secara terpisah (independent) termasuk polaritas untuk setiap kumparan seperti pada **Gambar 2.26**.



Gambar 2.26 Motor Stepper Bipolar
(Made , Hartono , & Wilma , 2017)

b. Motor Stepper Empat-phase (Unipolar)

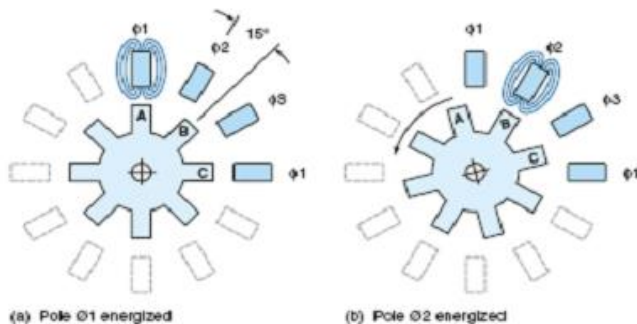
Motor stepper empat-phase (unipolar) adalah jenis motor stepper yang paling umum. Istilah empat-phase digunakan karena motor mempunyai empat kumparan medan (**Gambar 2.27**) yang dapat diberikan energi secara terpisah/tersendiri.



Gambar 2.27 Motor Stepper Empat-Phase
(Made , Hartono , & Wilma , 2017)

2. Motor Stepper Variable-Reluctance

Motor stepper variable-reluctance (VR) tidak menggunakan magnet pada rotornya; sebagai gantinya, digunakan roda besi bergerigi (toothed iron wheel) seperti pada **Gambar 2.28**.

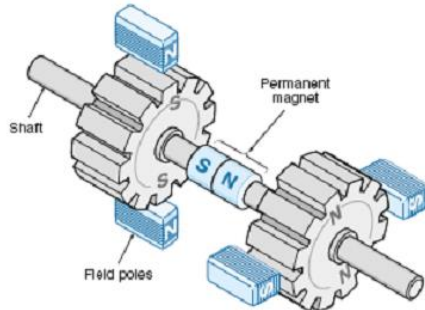


Gambar 2.28 Motor Stepper Vr Tiga Fasa 150

(Made , Hartono , & Wilma , 2017)

3. Motor Stepper Hybrid

Rotor bergerigi, yang membolehkan sudut step yang sangat kecil (1,80 tipikal), dan mempunyai suatu magnet permanen (**Gambar 2.29**) yang memberikan detent torque yang kecil bahkan ketika catu daya dimatikan.



Gambar 2.29 Kontruksi Internal Motor Stepper


(Made , Hartono , & Wilma , 2017)



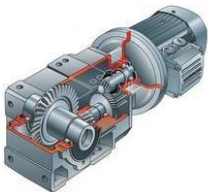


2.4.3 Speed Reducer (Gearbox)

Gearbox merupakan suatu alat khusus yang diperlukan untuk menyesuaikan daya atau torsi (momen/daya) dari motor yang berputar, dan gearbox juga adalah alat pengubah daya dari motor yang berputar menjadi tenaga yang lebih besar. Gearbox juga dapat mengubah arah rotasi menjadi linier, dan mereduksi kecepatan pada *conveyor* sehingga putaran *conveyor* tetap stabil dan tidak terlalu cepat.

Beberapa jenis gearbox yang ada di industri :

Tabel 2.5 Jenis Gearbox (Made , Hartono , & Wilma , 2017)

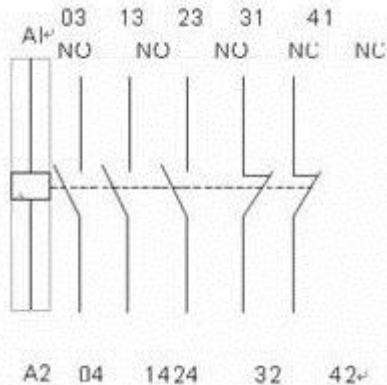
No.	Jenis Gearbox	Karakteristik	Gambar
1.	Gearbox heliks	Untuk operasi tugas berat	

2.	<i>Coaxial helical inline</i>	Efisiensi tinggi	
3	Bevel helical gearbox	Untuk industri pertambangan	
4	Gearbox heliks bevel miring	Dapat disesuaikan dengan jumlah gigi dan persneleng	
5	Worm reduction gearbox	Untuk industri pupuk, bahan mineral, dan bahan kimia	
6	Planetary gearbox	Daya tahan, presisi, dan keakuratan tinggi	

2.4.4 Contactor on-off

Contactor merupakan komponen listrik yang berfungsi untuk menyambungkan atau memutuskan arus listrik AC. Prinsip

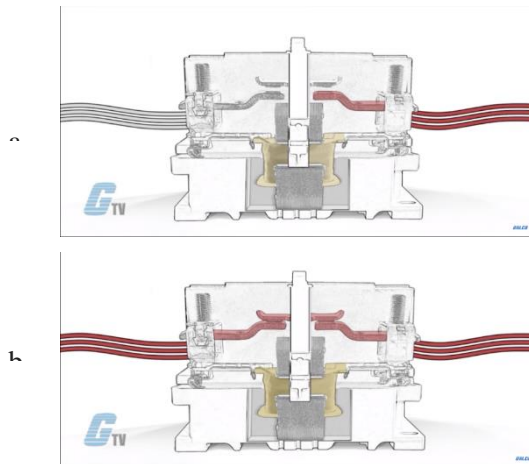
kerja contactor sama seperti relay, dalam contactor terdapat beberapa saklar yang dikendalikan secara elektromagnetik. Pada suatu contactor terdapat beberapa saklar dengan jenis NO (Normally Open) dan NC (Normally Close) dan sebuah kumparan atau coil elektromagnetik untuk mengendalikan saklar tersebut. Apabila coil elektromagnetik contactor diberikan sumber tegangan listrik AC maka saklar pada contactor akan terhubung, atau berubah kondisinya, yang semula OFF menjadi ON dan sebaliknya yang awalnya ON menjadi OFF. Untuk memahami prinsip kerja contactor dapat dilihat dari **Gambar 2.30**.



Gambar 2.30 Skema Prinsip Kerja Contactor
(zoniaelektro.net/contactor/)

Pada saat terminal A1 dan A2 diberikan sumber tegangan maka coil akan menarik tuas saklar pada contactor, setiap saklar dengan tipe NO (03 04, 13 14, 23 24) akan berubah menjadi ON dan setiap saklar tipe NC (31 32, 41 42) akan berubah menjadi OFF. Saklar contactor tipe NO pada umumnya memiliki kapasitor mengalirkan arus yang lebih besar daripada saklar tipe NC contactor. (zoniaelektro.net/contactor/)

Dalam hal kontaktor untuk otomasi, sebuah rangkaian kontaktor biasanya dihubungkan terlebih dahulu dengan sebuah alat kontrol, *counter* ataupun *timer*. *Output timer* akan dipergunakan sebagai pemacu pada kontaktor, sehingga mampu meghubungkan atau memutuskan listrik bila mana diperlukan.



Gambar 2.31 a) Contactor Off. b) Contactor On (Youtube.com)

2.4.5 Kapasitas Produksi

Kapasitas produksi merupakan salah satu tolak ukur yang penting dari suatu perusahaan. Kapasitas produksi adalah jumlah produk yang seharusnya dapat diproduksi oleh sebuah perusahaan guna mencapai keuntungan maksimal. (Putri, Agus, & Palit, 2015). Dengan Persamaan 2.30 dan Persamaan 2.31 dapat ditentukan kapasitas produksi.

$$L_{bh} = L_b \times L_h \quad 2.30$$

$$m = \frac{L_{bh}}{L_p} \times n \quad 2.31$$

Keterangan :

L_{bh} = Luas Area belt zona pemanasan (mm²)

L_b = Lebar belt tanpa chain (mm)

L_h	= Panjang zona pemanasan (mm)
L_p	= Luas area alas peluru (mm)
n	= Berat peluru (0,01132 kg)
m	= berat kapasitas produksi continuous <i>furnace</i> (kg)

2.4.6 Jenis – Jenis Continuous Furnace Yang Ada Dipasaran

Banyak perusahaan manufaktur yang membuat produk *continuous furnace* dengan desain sesuai kebutuhan produksi. Beberapa produk *continuous furnace* yang ada di pasaran sebagai berikut **Lampiran 3**.

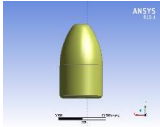
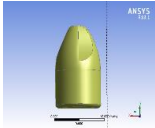
2.5 Penelitian Sebelumnya

Penelitian dan pengembangan tentang proyektil *frangible* telah dilakukan sejak 2009 di Laboratorium Fisika Material ITS. Berikut adalah daftar hasil penelitian tersebut yang dapat menunjang penelitian ini:

Tabel 2.6 Hasil Penelitian Peluru Frangible

No	Peneliti	Metode	Hasil
1	Anugraha dan Widyastuti (2014)	Komposisi 5, 10, 15% Sn P= 300, 400, 500 MPa T = 260°C h = 30 menit	<ul style="list-style-type: none"> • Densitas 7,19-7,44 g/cm³ • Kekerasan 39-83 HRF • Kekuatan tekan 143,86 – 275,72 MPa
2	Firmansyah dan Widyastuti (2015)	<ul style="list-style-type: none"> • Komposisi Cu-12% Sn • Metode wet mixing T=90°C selama 5 menit 	<ul style="list-style-type: none"> • Semakin tinggi temperatur sinter nilai <i>Frangibility Factor</i> makin rendah • Variasi temperatur sintering yang

		<ul style="list-style-type: none"> • Tekanan kompaksi 600 MPa selama 5 menit • T=200, 300, 400, 500, 600°C • h=30 menit 	menghasilkan nilai FF paling besar adalah 200°C yaitu sebesar 9,34
3	Jhony dan Widyastuti	<p>Komposisi Cu-10%Sn P = 600 MPa T = 300, 500, 700°C h = 30, 60, 90 menit</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Densitas 7,19-7,44 g/cm³ • Kekerasan 21,33 – 60,67 HRF • Kekuatan tekan 204,4 – 796,25 MPa
4	Mia, Widyastuti dan Mas Irfan (2017)	Optimasi Parameter eksperimen dengan metode Taguchi & Neural Network pada desain eksperimen peluru <i>frangible</i>	Parameter optimum didapatkan pada kombinasi 5%Sn, tekanan kompaksi 200 MPa dan Temperatur sintering 250°C dengan prediksi nilai FF Taguchi 20,40 dan NN nilai FF 20,07
5	Heti, Widyastuti dan Vania Mitha (2018)	Analisa Pengaruh Desain Proyektil terhadap terminal balistik gelatin dengan menggunakan	Perbedaan desain pada peluru menghasilkan efek terminal yang berbeda. Hasil menunjukkan bahwa total penetrasi dan temporary cavity

		<p>metode elemen hingga</p>  <p>Desain Peluru I</p>  <p>Desain Peluru II</p>	<p>desain peluru I lebih besar daripada desain peluru II</p>
6	Jonas, Widyastuti, dan Hosta (2015)	<ul style="list-style-type: none"> • Pra Desain <i>Continuous Furnace</i> Sintering Material Frangbile • Simulasi Termal Pada Solidwork • Perhitungan Elemen Pemanas dan Belt Konveyor 	<p>Temperatur operasi optimum pada <i>Continuous Furnace</i> pada proses <i>sintering</i> material <i>frangible</i> Cu-5%Sn pada zona pre sinter adalah 250°C sedangkan pada zona sinter adalah 300°C.</p>

7	Dzul, Widyastuti, dan Mas Irfan (2018)	Analisa balistik eksternal melalui <i>computational fluid dynamics</i> untuk optimasi desain peluru <i>frangible</i>	<p>Koefisien drag dari proyektil akan menurun seiring dengan meningkatnya ukuran jari-jari <i>ogive</i> dari peluru dan pada jari-jari <i>boattail</i> rata-rata didapatkan koefisien <i>drag</i> minimum pada ukuran 1mm. Sedangkan energi kinetik dari peluru akan meningkat seiring dengan menurunnya ukuran <i>ogive</i> dan <i>boattail</i> dari peluru</p> <p>Desain optimum yang didapatkan adalah besar jari-jari <i>ogive</i> proyektil sebesar 18,4545mm dan jari-jari <i>boattail</i> proyektil sebesar 0,75mm. Desain optimum ini menghasilkan Koefisien <i>Drag</i> sebesar 1,1045 dan energi kinetik sebesar 487,40 Joule.</p>
---	---	--	--

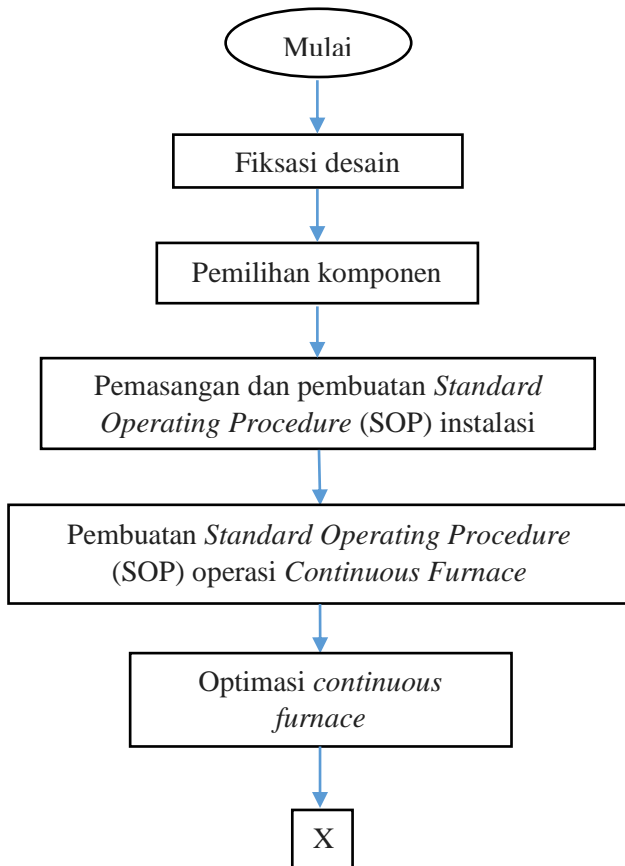
8	Faisal, Shouki (2018)	Konstruksi dan rancang bangun <i>Continuous Furnace</i> Analisa termal dan setting panel temperatur pada operasi <i>Continuous Furnace</i>	Alat jadi <i>Continuous Furnace</i> Setting panel temperatur yang optimal
---	-----------------------------	---	--

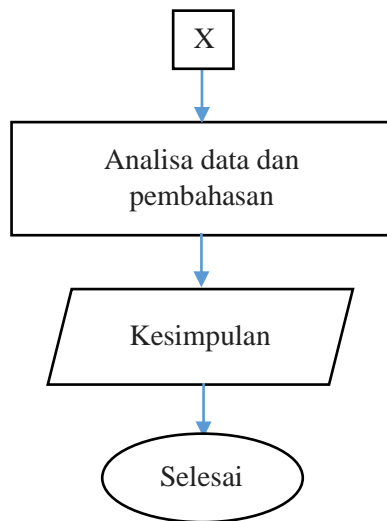
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini digunakan diagram alir dengan 4 pembagian yaitu, pemilihan komponen, SOP pemasangan *continuous furnace*, SOP kinerja *continuous furnace*, optimasi.

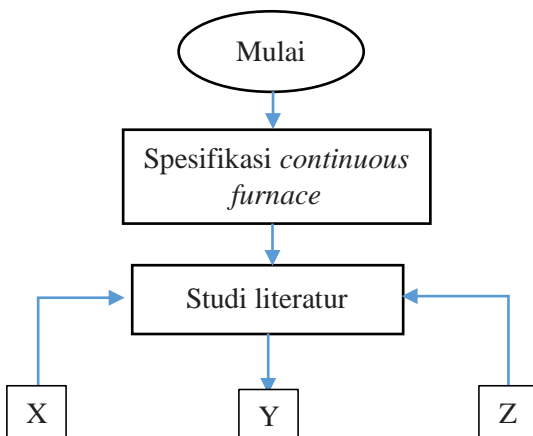
3.1.1 Diagram Alir Keseluruhan

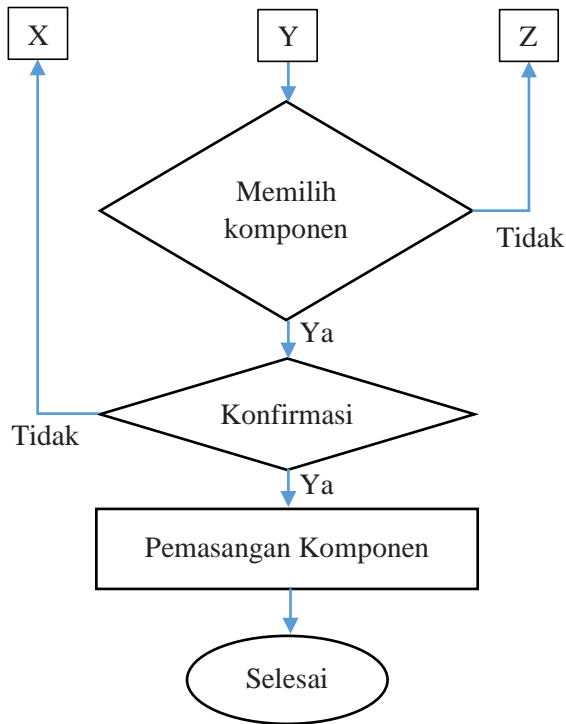




Gambar 3.1 Diagram Alir Keseluruhan

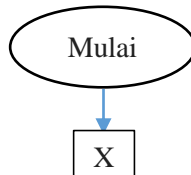
3.1.2 Diagram Alir Pemilihan Komponen *Continuous Furnace*

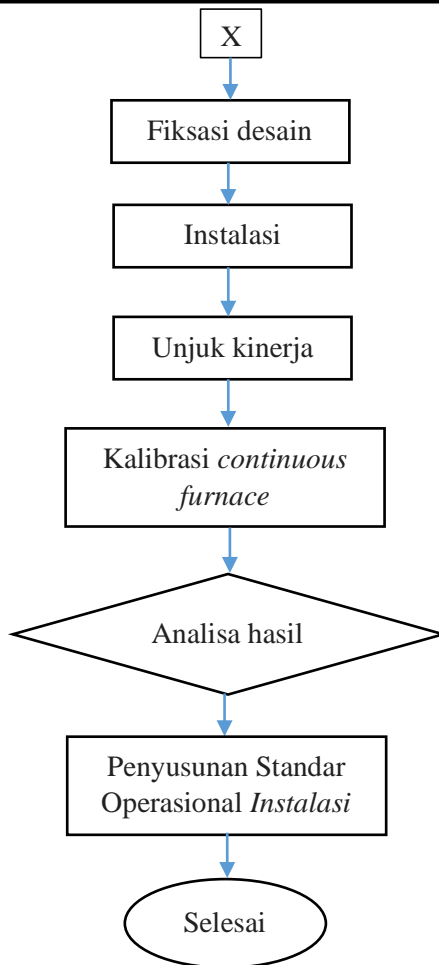




Gambar 3.2 Diagram Alir Pemilihan Komponen *Continuous Furnace*

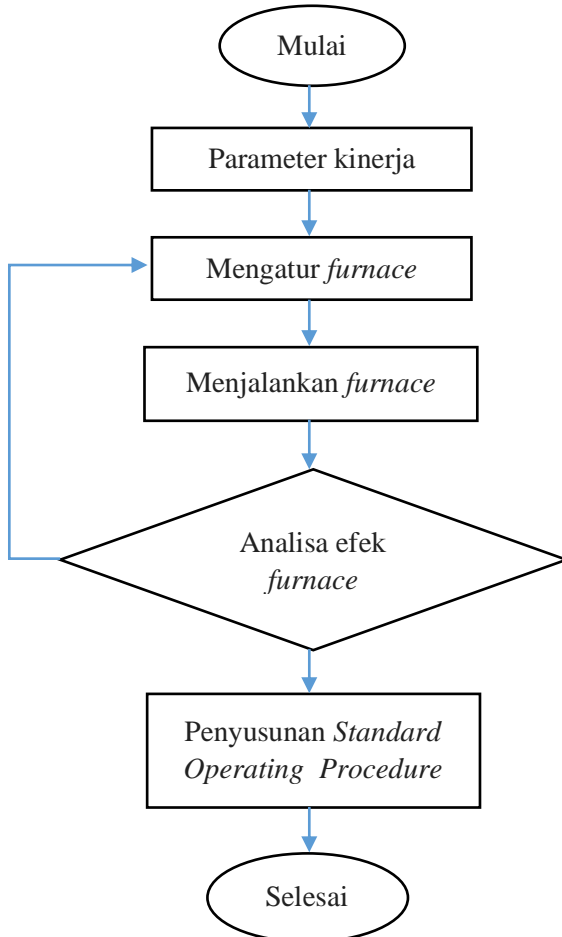
3.1.3 Diagram Alir Pembuatan *Standard Operating Prodeure* Instalasi





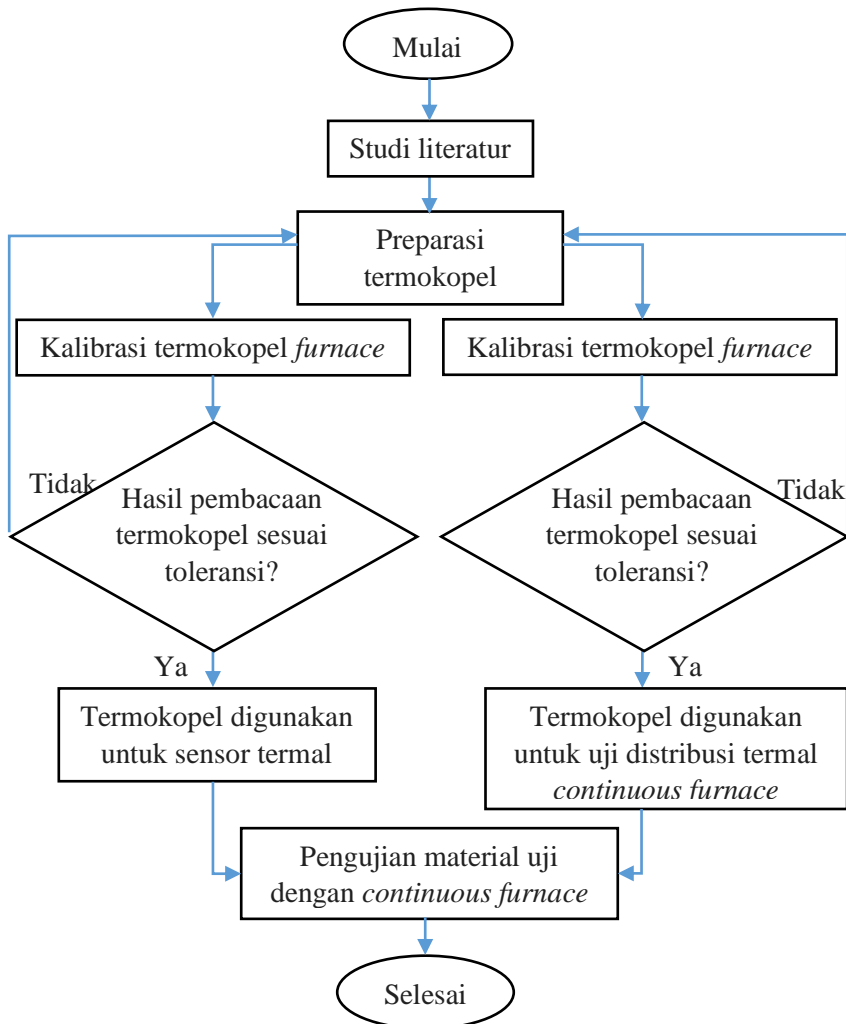
Gambar 3.3 Diagram Alir Pembuatan Standard Operating Instalasi

3.1.4 Diagram Pembuatan Standar Operasional Operasi *Continuous Furnace Untuk Sintering Frangible Bullet*



Gambar 3.4 Diagram Alir Pembuatan Standard Operating Procedure Kinerja *Continuous Furnace*

3.1.5 Diagram Alir Pengujian Kinerja dan Efisiensi *Continuous Furnace*



Gambar 3.5 Diagram Alir Pengujian Kinerja Dan Efisiensi
Continuous Furnace

3.2 Alat dan Bahan Pengujian

3.2.1 Alat Pengujian

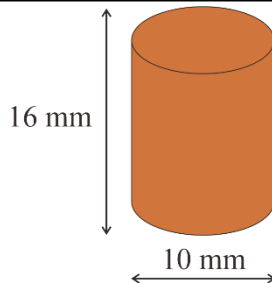
Alat yang diperlukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. <i>Continuous Furnace</i>	1 unit
2. <i>Batch furnace</i>	1 unit
3. Tang pemegang	1 buah
4. Tang pemotong	1 buah
5. Keramik tempat menaruh sampel uji	1 buah
6. Gunting kawat	1 buah
7. Mesin las	1 unit
8. Elektroda karbon	3 buah
9. Picolog TC-08	1 unit
10. Laptop	1 unit
11. Mistar / meteran	1 buah
12. Stopwatch	1 buah
13. Spidol	1 buah
14. Kabel termokopel tipe k (5meter / termokopel)	7 buah
15. PID controller	1 unit
16. Alumina	secukupnya
17. Kawat	secukupnya

3.2.2 Bahan pengujian

Bahan pengujian pada penelitian ini adalah :

- Cu rod diameter 9 mm, panjang 16 mm
- CuSn hasil kompaksi



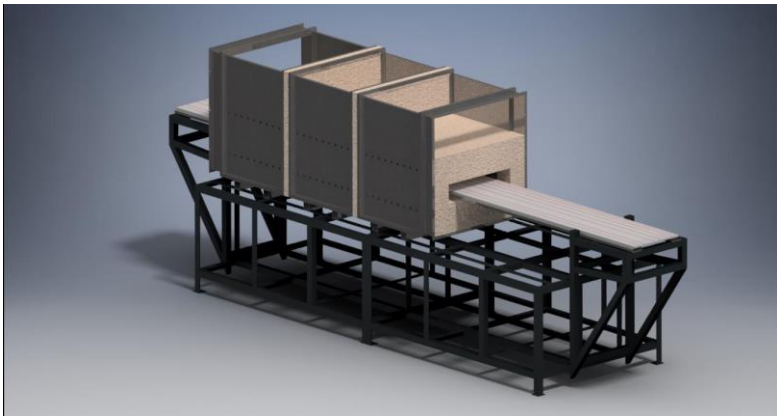
Gambar 3.6 Sampel Uji

3.3 Desain *Continuous Furnace*

Desain *Continuous Furnace* yang telah dirancang terdapat 6 zona yaitu *feed zone*, *pre sinter zone*, *sinter zone*, *pasca sinter zone*, *cooling zone* dan *discharge zone*. Fungsi dari setiap zona adalah sebagaimana **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Fungsi Tiap Zona Dalam *Continuous Furnace*

No	Nama Zona	Fungsi
1	<i>Charge Zone</i>	Tempat tunggu material sebelum masuk zona pemanasan
2	<i>Pre Sinter Zone</i>	Menghilangkan material yang mudah menguap.
3	<i>Sinter Zone</i>	Membentuk ikatan antar partikel serbuk.
4	<i>Pasca Sinter Zone</i>	Menyiapkan material untuk proses pendinginan
5	<i>Cooling Zone</i>	Mendinginkan material sampai pada temperatur kamar.
6	<i>Discharge Zone</i>	Tempat tunggu material sebelum proses selanjutnya.



Gambar 3.7 Ilustrasi Desain *Continuous Furnace*



Gambar 3.8 Desain *Real Continuous Furnace*

3.4 Pemilihan Komponen

Untuk merancang peralatan yang akan dipakai, diperlukan langkah - langkah sebagai berikut (Effendi, 2001) :

1. Urutan proses

2. Spesifikasi bahan baku dan produk jadi maupun produk sampling (by product)
3. Standard yang berlaku bagi masing-masing peralatan tersebut, biasanya dapat ditemukan pada literature-literature yang membahas secara khusus perancangan alat yang dimaksud, atau dari spesifikasi alat yang dikeluarkan oleh pabrik pembuatnya.

Dengan langkah tersebut dapat dicari komponen – komponen yang diperlukan dalam merancang suatu alat.

3.5 Pembuatan Standard Operating Procedure

SOP adalah pedoman tertulis mengenai apa yang diharapkan dan diperlukan pegawai dalam melakukan pekerjaan mereka (FEMA, 1999).. Menurut Marimin Tanjung, dan Prabowo (2006) mendefinisikan SOP sebagai pedoman operasi standar dalam mengimplementasikan keputusan dalam suatu tindakan yang terstruktur dan dapat dipertanggungjawabkan.

Tahap pengembangan SOP menurut Amir Syamsudin (2012) sebagai berikut :

1. Pengumpulan Informasi
2. Analisis dan Pemilihan Alternatif
3. Penulisan SOP
4. Pengujian dan *Review* SOP
5. Pengesahan SOP

3.6 Preparasi Termokopel

Preparasi termokopel dilakukan untuk mendapatkan produk termokopel yang sesuai kebutuhan. Melalui pengelasan termokopel dibuat dengan menyambung 2 ujung *wire* logam A dan B sehingga membentuk *Juntion* sebagai titik pembacaan temperatur.

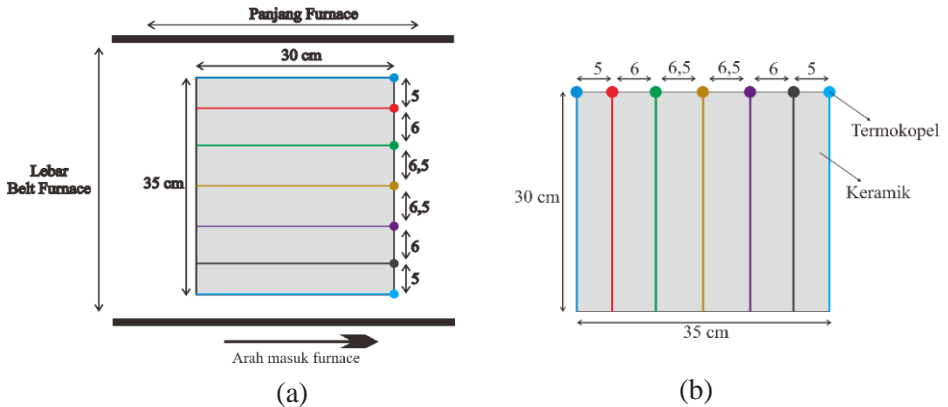
3.7 Kalibrasi Termokopel

Dalam penggunaan pembaca temperatur atau termokopel pada *Continuous Furnace* kemampuan membaca dari termokopel itu sendiri harus terbukti valid sehingga data temperatur yang didapatkan dapat dipercaya. Analisa unjuk kerja *thermocouple* dilakukan dengan mengukur emf (mV) yang dibangkitkan dan membandingkannya dengan temperatur yang ditunjukkan oleh rekorder. Rekorder diasumsikan sudah memiliki factor konversi yang standar (oleh pabrik pembuat). (Sutarya, 2008)

3.8 Kinerja dan Efisiensi *Continuous Furnace*

3.8.1 Uji Distribusi Temperatur Ruang *Furnace*

Pada proses heat treatment, temperatur pemanasan menjadi salah satu variabel yang digunakan pada proses. Untuk mendapatkan sifat yang diinginkan maka harus dilakukan perlakuan panas yang tepat. (Suherman, 2003). Proses sintering di *continuous furnace* juga menggunakan konsep *heat treatment* sehingga temperatur harus diperhatikan. Untuk mendapatkan hasil material uji yang seragam temperatur dalam ruang *furnace* harus juga seragam, pada penelitian kali ini dilakukan pengujian distribusi temperatur menggunakan TC-08 (**Gambar 3.10**). Termokopel disusun pada tray yang akan berjalan bersama konveyor. Susunan termokopel pada tray dinyatakan sebagaimana **Gambar 3.9**. Hasil pengukuran termokopel pada ruang *furnace* ini akan dinyatakan dalam grafik temperatur. Adapun tahapan proses pengujian distribusi temperatur dinyatakan sebagaimana **Tabel 3.2**.

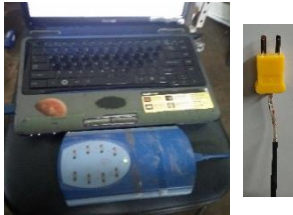


Gambar 3.9 Susunan Termokopel Untuk Uji Distribusi Temperatur (a) *Fixture* Pada Tray (b) Dimensi Tray



Gambar 3.10 Termokopel *Data Logger* TC-08

Tabel 3.2 Langkah Pengujian Distribusi Temperatur

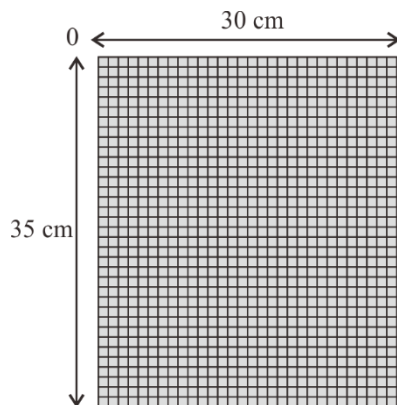
Langkah	Keterangan
Menyiapkan alat dan perlengkapan, yaitu Data logger TC-08 (Gambar 3.7), termokopel tipe k dan <i>personal computer</i> .	

<p>Memasang/ menyiapkan termokopel di atas fixture keramik seperti Gambar 3.6, pastikan termokopel tidak banyak bergerak.</p>	
<p>Menghubungkan termokopel tipe k ke slot data logger TC-08. Dan dari TC-08 ke personal komputer.</p>	
<p>Setting temperatur pada PID control sesuai yang dibutuhkan.</p>	
<p>Menjalankan <i>furnace</i> untuk melihat efek temperatur.</p>	

3.8.2 Sintering Material Uji

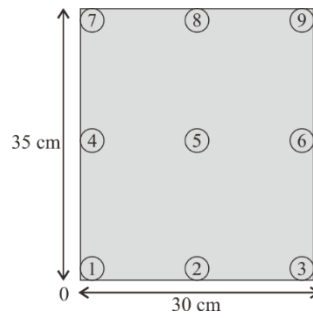
Setelah dilakukan pengoptimalan pada kinerja *furnace*, dan *furnace* berjalan sesuai spesifikasi selanjutnya dilakukan pengujian sintering material uji untuk melihat apakah efek sintering sudah sesuai dengan spesifikasi. Material uji di susun pada conveyor dengan alas keramik (*fixture*) dengan skema 3x3,4x4,5x5,6x6,7x7. Pada posisi horizontal dan vertikal dengan dimensi fixture

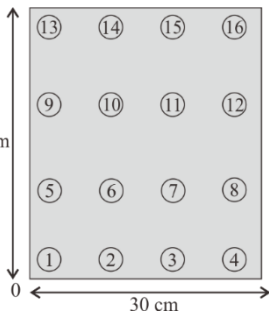
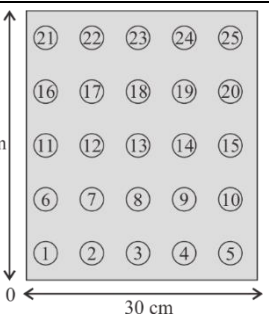
sebagaimana **Gambar 3.11** dengan koordinat posisi peluru seperti pada **Tabel 3.3**. Dalam 1 *fixture*, pada skema 3x3 terdapat 9 sample peluru, skema 4x4 terdapat 16 sample peluru, skema 5x5 terdapat 25 sample peluru, skema 6x6 terdapat 36 sample peluru, skema 7x7 terdapat 49 sample peluru. Kemudian material uji masuk ke dalam *furnace* sampai material uji keluar dari *furnace*, setelah itu di uji kekerasan.

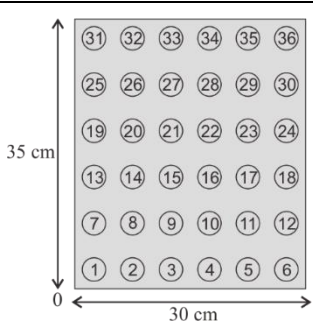


Gambar 3.11 Luas Area Fixture

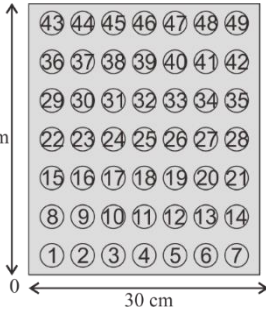
Tabel 3.3 Koordinat Posisi Peluru

Skema	Titik	Koordinat	Skema
3x3	1	2;2	
	2	1,5;2	
	3	29;2	
	4	2;17,5	
	5	15,5;17,5	
	6	29;17,5	
	7	2;34	
	8	15,5;34	
	9	29;34	

4x4	1	3;3	
	2	11;3	
	3	19;3	
	4	27;3	
	5	3;13	
	6	11;13	
	7	19;13	
	8	27;13	
	9	3;23	
	10	11;23	
	11	19;23	
	12	27;23	
	13	3;33	
	14	11;33	
	15	19;33	
	16	27;33	
5x5	1	3;4	
	2	9;4	
	3	15;4	
	4	21;4	
	5	27;4	
	6	3;11	
	7	9;11	
	8	15;11	
	9	21;11	
	10	27;11	
	11	3;18	

	12	9;18	
	13	15;18	
	14	21;18	
	15	27;18	
	16	3;25	
	17	9;25	
	18	15;25	
	19	21;25	
	20	27;25	
	21	3;32	
	22	9;32	
	23	15;32	
	24	21;32	
	25	27;32	
6x6	1	3;3	
	2	8;3	
	3	13;3	
	4	18;3	
	5	23;3	
	6	28;3	
	7	3;9	
	8	8;9	
	9	13;9	
	10	18;9	
	11	23;9	
	12	28;9	
	13	3;15	

	14	8;15	
	15	13;15	
	16	18;15	
	17	23;21	
	18	28;15	
	19	3;21	
	20	8;21	
	21	13;21	
	22	18;21	
	23	23;21	
	24	28;21	
	25	3;27	
	26	8;27	
	27	13;27	
	28	18;27	
	29	23;27	
	30	28;27	
	31	3;33	
	32	8;33	
	33	13;33	
	34	18;33	
	35	23;33	
	36	28;33	
7x7	1	3,5;3	
	2	7,5;3	
	3	11,5;3	
	4	15,5;3	

5	19,5;3	
6	23,5;3	
7	27,5;3	
8	3,5;8	
9	7,5;8	
10	11,5;8	
11	15,5;8	
12	19,5;8	
13	23,5;8	
14	27,5;8	
15	3,5;13	
16	7,5;13	
17	11,5;13	
18	15,5;13	
19	19,5;13	
20	23,5;13	
21	27,5;13	
22	3,5;18	
23	7,5;18	
24	11,5;18	
25	15,5;18	
26	19,5;18	
27	23,5;18	
28	27,5;18	
29	3,5;23	
30	7,5;23	
31	11,5;23	

	32	15,5;23	
	33	19,5;23	
	34	23,5;23	
	35	27,5;23	
	36	3,5;28	
	37	7,5;28	
	38	11,5;28	
	39	15,5;28	
	40	19,5;28	
	41	23,5;28	
	42	27,5;28	
	43	3,5;33	
	44	7,5;33	
	45	11,5;33	
	46	15,5;33	
	47	19,5;33	
	48	23,5;33	
	49	27,5;33	

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Desain CF (*Continuous Furnace*)

Desain *bullet continuous furnace* pada penelitian kali ini dilakukan untuk mendapatkan nilai – nilai parameter proses pada *continuous furnace* yang akan dibuat sudah ada. Hasil ini nantinya menjadi acuan perhitungan untuk kegiatan rancang bangun *continuous furnace* selanjutnya dengan skema sebagaimana

Gambar 4.1. Zona *continuous furnace* adalah sebagai berikut :

1. *Charge Zone*
Daerah ini merupakan daerah persiapan material ketika akan mulai dipanasi. Temperatur daerah ini berkisar sama dengan temperatur kamar.
2. *Pre Sintering Zone*
Daerah ini bertujuan untuk menghilangkan material yang mudah menguap seperti *lubricant* (zinc stearate pada material frangible) akibat pengaruh temperatur tinggi. Pemanasan diawal diberikan untuk menghilangkan unsur *lubricant* yang diberikan pada saat kompaksi, sehingga ketika masuk temperatur sintering, *lubricant* tadi sudah hilang. Jika pemanasan material dilakukan langsung pada temperatur sintering, *lubricant* tersebut tidak akan sempat menguap atau berdifusi keluar dari material itu, namun akan membentuk gelembung uap dalam material, hal ini dapat mengakibatkan porous pada material yang akan mengurangi sifat mekaniknya.
3. *Sintering Zone*
Daerah ini bertujuan untuk membentuk ikatan antar partikel serbuk, sehingga sifat mekanik yang diinginkan tercapai. Pada daerah sintering ini terjadi mekanisme pembentukan senyawa intermetallic yang kemudian menentukan sifat mekanik material tersebut.
4. *Pasca-Sintering Zone*

Daerah ini bertujuan untuk persiapan proses pendinginan, dimana pada zona ini temperatur lebih rendah dari *sintering zone*

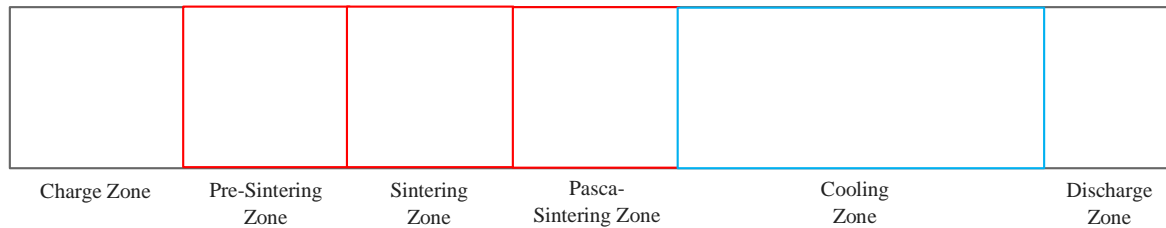
5. *Cooling Zone*

Daerah ini bertujuan untuk mendinginkan temperatur material menjadi temperatur kamar. Pendinginan material frangible dilakukan dengan lambat, sehingga sifat dari material tersebut hampir sama dengan proses batch *furnace*.

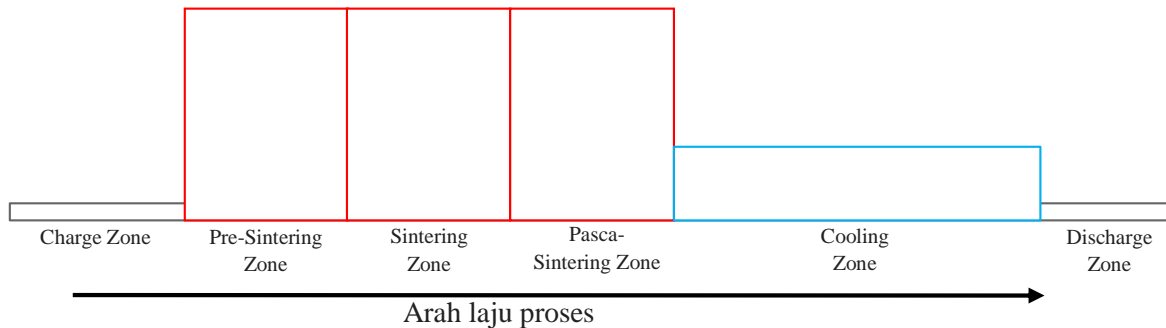
6. *Discharge Zone*

Daerah ini merupakan daerah tunggu material setelah selesai pendinginan, dan akan dikumpulkan untuk ke proses selanjutnya. Temperatur daerah ini berkisar sama dengan temperatur kamar.

Tampak Atas



Tampak Samping



Gambar 4.1 Skema Desain Continuous *Furnace*

4.1.1 Perhitungan Energi

Dengan menggunakan Persamaan 2.21 dapat menentukan kuantitas panas pada tiap zona *furnace*.

- Kuantitas Panas Zona Pre-Sintering

Perhitungan kuantitas panas untuk zona pre-sintering ditunjukkan pada **Tabel 4.1**, zona pre-sintering diilustrasikan seperti **Gambar 4.1**.

Tabel 4.1 Konstanta Kuantitas Panas Zona Pre-Sintering

Variabel	Nilai	Satuan
Berat material (m)	874,0	kg
Spesific Panas peluru Cu-5wt%Sn (Cp)	0,435	Kcal/kg °C
Temperatur awal (t1)	30	°C
Temperatur Akhir (t2)	250	°C
Kuantitas Panas (Q_{pr})	83646,0942	kcal

- Kuantitas Panas Zona Sintering

Perhitungan kuantitas panas untuk zona pre-sintering ditunjukkan pada **Tabel 4.2**, zona pre-sintering diilustrasikan seperti **Gambar 4.1**

Tabel 4.2 Konstanta Kuantitas Panas Zona Sintering

Variabel	Nilai	Satuan
Berat material (m)	874,0	kg
Spesific Panas peluru Cu-5wt%Sn (Cp)	0,435	Kcal/kg °C
Temperatur awal (t1)	250	°C
Temperatur Akhir (t2)	300	°C
Kuantitas Panas (Q_s)	19010,4 7595	kcal

- Kuantitas Panas Zona Pasca-Sintering

Perhitungan kuantitas panas untuk zona pre-sintering ditunjukkan pada **Tabel 4.3**, zona pre-sintering diilustrasikan seperti **Gambar 4.1**.

Tabel 4.3 Konstanta Panas Zona Pasca-Sintering

Variabel	Nilai	Satuan
Berat material (m)	874,0	kg
Spesific Panas peluru Cu-5wt% Sn (Cp)	0,435	Kcal/kg °C
Temperatur awal (t1)	30	°C
Temperatur Akhir (t2)	122	°C
Kuantitas Energi (Q _{pc})	34979,2757	kcal

Sehingga total kuantitas energi yang dikonsumsi pada seluruh zona adalah :

$$Q_{tot} = Q_{pr} + Q_s + Q_{pc}$$

$$Q_{tot} = 83646,0942 + 19010,47595 + 34979,2757$$

$$Q_{tot} = 137635,8459 \text{ kcal}$$

- Konsumsi Energi

Menggunakan pers 2.20 dapat diketahui berapa jumlah energi yang dikonsumsi oleh continuous *furnace* per kilogramnya.

Tabel 4.4 Konstanta Spesific Energi

Variabel	Nilai	Satuan
Kuantitas energi (Q)	137635,8459	kcal
kuantitas material proses (m)	874,0448711	kg
Konsumsi energi (C)	157,47	kcal/kg

4.1.2 Perhitungan *Heat loss*

- *Heat Loss* Melalui bagian terbuka

Pada *continuous furnace* terdapat bagian yang terbuka sehingga menyebabkan *heat loss*. Hal tersebut dapat diketahui dengan Persamaan 2.23. diketahui hasil pada **Tabel 4.5**.

Tabel 4.5 Konsta *Heat Loss* Bagian Terbuka

Variabel	nilai	satuan
Tebal Insulasi (X)	114	mm
Tinggi bagian terbuka (D)	8	cm
lebar bagian terbuka (b)	50	cm
Ratio (D/X)	0,070175 439	
Faktor dari radiasi (Gambar 2.15) (h)	0,44	
Black body radiation (300C) (Gambar 2.16) (R)	2	kCal/cm2 /hr
Area Terbuka (A_o)	400	cm ²
Emisivitas bata api (ϵ)	0,8	
<i>Heat loss</i> bagian terbuka (Q_o)	281,6	Kcal/hr

- *Heat Loss* Melalui kulit

Kuantitas panas yang hilang dari permukaan badan *furnace* adalah jumlah dari konveksi alami dan radiasi termal. Kuantitas tersebut dapat dihitung dari temperatur permukaan *furnace*. Dari Persamaan 2.13 dapat diketahui *heat loss* pada kulit *furnace*. Dengan hasil pada **Tabel 4.6**

Tabel 4.6 Konstanta *Heat Loss* Melalui Kulit

Variabel	Nilai	Satuan
Faktor arah konveksi alami atap (a)	2,8	
Faktor arah konveksi alami dinding samping (a)	2,2	

Faktor arah konveksi alami hearth (a)	1,5	
Temperatur dinding permukaan luar (T1)	93	C
Temperatur udara sekitar (T2)	40	C
Emisivitas permukaan dinding luar (ϵ)	0,59	
Luas area atap	1,40544	m ²
luas area dinding samping	1,44448	m ²
luas area hearth	0,694912	m ²
Panas yang hilang - atap (Q)	900,48557 59	Kcal
Panas yang hilang - dinding samping (Q)	801,56016 89	Kcal
Panas yang hilang - hearth (Q)	316,05333 2	Kcal

Dari perhitungan di atas diperoleh total *heat loss* adalah sebesar 2299,699077 Kcal. Dengan total kuantitas energi dari continuous furnace adalah sebesar 137635,8459 Kcal. Dari data tersebut energi yang hilang lebih sedikit dibandingkan kuantitas energi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa desain energi sudah tepat.

4.1.3 Perhitungan Elemen Pemanas

Pada *Continuous furnace* ini dibutuhkan temperatur operasi 250-300°C. Sehingga dibutuhkan elemen pemanas yang dapat memanaskan hingga temperatur yang diinginkan dari pertimbangan tersebut

Panjang coil yang dapat ditentukan dengan Persamaan 2.1. Kerekatan coil dapat diketahui dengan Persamaan 2.2. Regangan coil dapat diketahui dengan Persamaan 2.3. konsentrasi beban permukaan diketahui dengan Persamaan 2.4

- Panjang Coil

Tabel 4.7 Konstanta Perhitungan Panjang Coil

Variabel	Nilai	satuan
Diameter kawat (d)	1,5	mm
Diameter internal coil (D)	18,6	mm
Panjang coil (X x 3) (l)	470	mm
Jarak tiap coil (s)	55	mm
Panjang Kawat pada coil (L) (per ruas)	1,618832767	m

- Panjang Regangan coil

Tabel 4.8 Konstanta Panjang Kerekatan Coil

Variabel	Nilai	Satuan
Panjang kerekatan coil (X)	38,45454545	mm
Panjang regangan coil (X')	96,13636364	mm
Rasio regangan (i)	2,5	

- Konsentrasi beban permukaan

Tabel 4.9 Konstanta Konsentrasi Beban Permukaan

Variabel	Nilai	Satuan
Daya (P)	11000	W
Luas permukaan elemen pemanas (A)	76,24702333	cm ²
konsentrasi beban permukaan (Wd)	144,2679271	W/cm ²

Dari data yang telah ada maka dipilihlah elemen pemanas kanthal AF dengan material ferritic iron-chromium-aluminium alloy (FeCrAl alloy) temperatur maksimum pada 1300°C. Elemen

jenis ini banyak digunakan untuk pemanas, dengan bentuk melilit atau coil memanjang.

- Ketahanan Deformasi

Penggunaan elemen pemanas secara berkala dan berkelanjutan dapat menyebabkan penurunan fungsi pada elemen pemanas, sehingga lama waktu penggunaan atau *life time* dari elemen pemanas perlu di ketahui untuk perawatan continuous *furnace* pada rentang waktu tertentu. Waktu penggunaan elemen pemanas dapat diketahui pada **Gambar 2.12**

4.1.4 Perhitungan Dimensi

- Perhitungan Panjang Zona Pemanasan

Pada zona pemanasan dibutuhkan sebanyak 3 zona, yaitu *presintering*, *sintering*, dan *pasca sintering*. Dibutuhkan waktu waktu holding selama 30 menit untuk setiap zona pemanasan (Jonas, 2017). Kecepatan motor 0,18 rpm atau setara 0,79 mm/s. Dari data tersebut dapat dihitung panjang zona pemanasan.

$$\begin{aligned}\text{Panjang zona} &= \text{kecepatan motor} \times \text{holding time} \\ &= 0,79 \text{ mm/s} \times 1800 \text{ sekon} \\ &= 1422 \text{ mm} = 142,2 \text{ cm}\end{aligned}$$

Dari perhitungan didapatkan panjang zona 1422 mm. Karena dirasa hanya pada satu zona saja sudah 1422 mm maka panjang tersebut tidak ekonomis sehingga harus diperpendek dengan memasang *counter timer* pada rangkaian motor.

Dengan variasi counter timer 60 sekon motor berjalan dan 120 sekon motor berhenti untuk memenuhi kebutuhan holding time. Diperkirakan akan ada 10 siklus timer off dan on sehingga motor akan berjalan 660 sekon dan berhenti 1200 sekon.

$$\begin{aligned}\text{Panjang zona} &= 0,79 \text{ mm/s} \times 600 \text{ sekon} \\ &= 521,4 \text{ mm}\end{aligned}$$

Sehingga panjang zona yang lebih ekonomis adalah sekitar 521,4 mm.

4.1.5 Perhitungan Refractory

Tebal refraktori perlu diperhitungkan untuk karena berhubungan dengan panas yang ada dalam *furnace* dengan Persamaan 2.9 dapat ditentukan tebal refractory.

Tabel 4.10 Konstanta Perhitungan Tebal Refractory

Variabel	Nilai	Satuan
Emisivitas insulasi (ϵ)	0,8	
Konstanta boltzman (σ)	5,67E-08	w/m ² k ⁴
Temperatur permukaan (T_s)	366,15	K
Temperatur sekitar (T_{sur})	313,15	K
Temperatur <i>furnace</i> (T_i)	573,15	K
Energi <i>furnace</i> (q)	11000	W
Konduktifitas thermal ceramic fiber paper (K_s)	0,08	w/mk
Konduktifitas thermal insulation brick (K_{ins})	0,16	w/mk
koefisien heat transfer radiasi (hr)	7,152594162	w/m ² k
koefisien heat transfer (h)	2	w/m ² k
Thermal Resitance (R_{tot})	0,023636364	k/w
Tebal Ceramic fiber paper (L_s)	0,003	m
Luas Area (A)	1,44448	m ²
Tebal insulasi (L_{ins})	0,01801862	m

Dari data di atas dapat ditentukan bahwa tebal minimum refraktori yang harus digunakan adalah 0,01801862 m atau 18,01862 mm. Sehingga dipilihlah jenis refraktori bata tahan api atau *insulating brick* dengan tebal 114 mm yang banyak beredar di pasaran.

4.1.6 Perhitungan Handling

Untuk mendukung sistem produksi secara kontinu pada material handling dibutuhkan konveyor. Jenis konveyor yang digunakan adalah *mesh belt conveyor* yang biasa digunakan untuk aplikasi temperatur tinggi dengan jenis material SS314. Menurut (Wehr, 2011), material paduan ini sangat direkomendasikan karena sangat efektif dari segi harga serta tahan terhadap aplikasi temperatur tinggi. Kemudian Anna menambahkan bahwa material SS314 sangat cocok digunakan pada aplikasi sintering material serbuk khususnya paduan – paduan tembaga, hal ini sangat sesuai dengan muatan yang akan di sintering yaitu material Cu-Sn.

Pada rancangan konveyor dibutuhkan perhitungan panjang belt dan berat maksimum produk pada belt menggunakan Persamaan 2.25 dan Persamaan 2.26.

- Perhitungan Lebar Belt

Dengan kapasitas produksi yang telah ditentukan sebanyak 437 kg/jam kemudian dapat ditentukan lebar belt yang dibutuhkan dengan Persamaan 2.31.

Tabel 4.11 Konstanta Perhitungan Lebar Belt

Variabel	Nilai	Satuan
berat kapasitas produksi Continuous furnace (m)	437	kg/jam
kapasitas sintering	77212,4444	Buah
Panjang Zona pemanasan (L_h)	1952	mm
Lebar Zona Pemanasan	720	mm
Tinggi zona pemanasan	740	mm
Luas area alas Peluru (L_p)	9	mm
Luas Area belt zona pemanasan (L_{bh})	694912	mm ²
Berat peluru (n)	0,01132	kg
Lebar Belt (tanpa chain) (L_b)	356	mm

- Panjang belt

Tabel 4.12 Konstanta Perhitungan Panjang Belt

Variabel	Nilai	Satuan
Diameter katrol (D)	25	mm
Diamater ekor katrol (d)	96	mm
Jarak pusat ke pusat (C)	2000	mm
Panjang Belt (L)	4190,0668	mm

- Maksimum berat produk pada belt

Tabel 4.13 Konstanta Berat Produk Pada Belt

Variabel	Nilai	Satuan
Beban per jam (G2)	963,4200857	lbs
Kecepatan koveyor (S)	0,155839895	feet/min
Jarak pusat ke pusat (C)	78,74015748	inchi
Berat produk pada belt (W)	8113,011236	lbs
	3679,999994	kg

4.2 Standar Operasional Kinerja Dan Instalasi Continuous Furnace


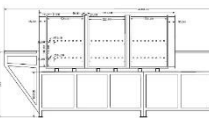
Agar suatu proses berajalan dengan lancar sesuai kebutuhan, menghindari kegagalan atau kesalahan, dan mendapatkan hasil yang konsisten juga efisien, perlu adanya langkah – langkah yang dapat menuntun untuk mencapai tujuan tersebut. Dalam hal ini continuous *furnace* yang telah dirancang perlu adanya standar operasional operasi agar operator dapat mengoperasikan alat dengan aman dan efisien.

4.2.1 Spesifikasi Desain Dan Keterangan Komponen







Setelah dilakukan perhitungan didapatkan spesifikasi dan komponen dari *continuous furnace* sebagai berikut.




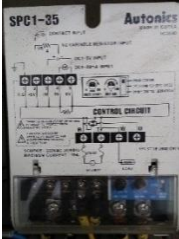

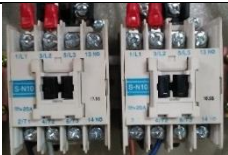
Tabel 4.14 Spesifikasi *Continuous Furnace*


Aplikasi		Desain TA	Merek
1. Elemen Pemanas	Material	FeCrAl alloy	Kanthal AF
	Temperatur Maks (°C)	1300	
	Temperatur kerja (°C)	260-400	
	Jumlah (m)	28,125/zona	
	Panjang (mm)	3125/segmen	
	Diameter (mm)	1,6	
	Konduktifitas Thermal (°C) (W/m°K)	(1200) 27	
2. Sistem Insulasi	Jenis Material	Insulating Brick C1, Ceramic Fiber Paper,	
	Nilai Konduktifitas (W/m°K)	0,40 ; 2,04	
	Resistifitas Thermal	0,330	
	Jumlah Layer	2	
	Tebal Total (mm)	117	
	Densitas (kg/m³)	1060	

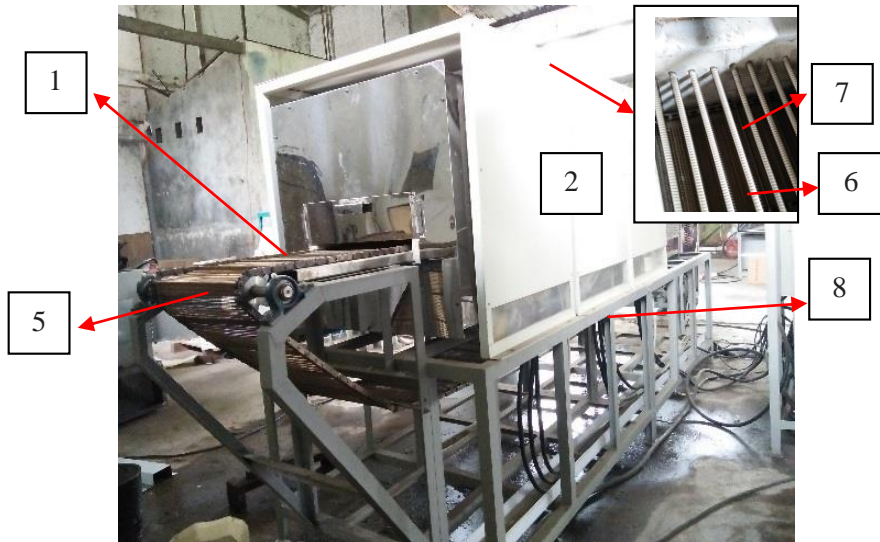
3. Sistem Pendinginan		Udara	
4. Conveyor	Tipe	Mesh Belt	
	Material	Stainless steel	
	Lebar (mm)	400	
	Panjang(mm)	4000	
	Penggerak	Motor Stepper	
5.Sistem Kontrol	Temperatur	PID Control	Autonics
	Thermocouple	Tipe K	
	Heating rate (°C/min)	15	
	Keseragaman Temp (°C)	± 5	
6. Atmosfer		Normal	
7. Furnace Door		Front, Back-side open	
8. Tegangan Kerja (V)		220	
9. Input Energi (W)		11000	
10.Jumlah Zona		3	
11.Panjang Zona Pemanas (mm)		1952	
12.Gambar	Alat		
	Skema		

Tabel 4.15 Komponen - Komponen *Continuous Furnace*

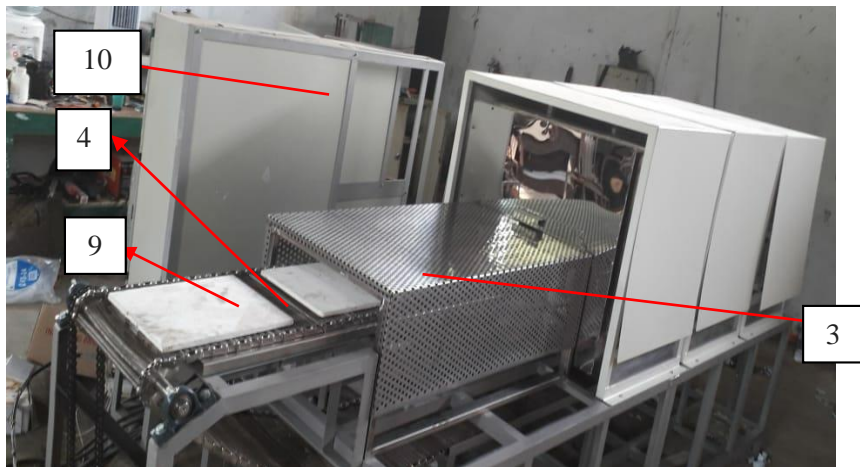
No.	Nama bagian	Keterangan	Gambar
1	Elemen pemanas	Kanthal AF	
2.	Konveyor	Mesh belt konveyor	
3.	<i>Insulating brick</i>	Tipe C-1	
4.	<i>Gearbox</i>	Tipe WPA 50 Rasio 1:50	
5.	Motor <i>stepper</i>	Frankfurt novotech 86HS85-118 series	
6.	<i>Inductive proximity sensor</i>	Autonics PR18-DP	

7.	PID temperatur kontrol	Autonics TK45 series	
8.	Counter timer	Autonics LE4S	
9.	Pulse meter	Autonics MP5W	
10.	Kontroler daya	Autonics SPC-135	
11.	<i>Circuit breaker</i>	Schneider EZ C250F	
12.	<i>Magnetik breaker contactor</i>	Mitshubishi S-N10	

13.	Steker 3 fasa	CEE industrial 025 5 pin	
-----	---------------	--------------------------	---



(a)



(b)

Gambar 4.2 Continuous *Furnace* (a) Tampak Samping
(b) Tampak depan

Keterangan :

1. Feed Zone : bagian awal dari *continuous furnace*, untuk peletakan peluru yang akan di sintering.
2. Zona Pemanasan : zona dimana material mengalami pemanasan. Terdapat 3 chamber pada zona pemanasan, yaitu ; pre-sintering, sintering, dan pasca-sintering.
3. Zona Pendinginan : zona untuk mendinginkan peluru setelah proses pemanasan, untuk memudahkan proses selanjutnya.
4. *Discharge Zone* : zona untuk mengambil peluru yang sudah mengalami pendinginan untuk diproses lebih lanjut.
5. *Conveyor Belt* : material handling untuk peluru secara berkelanjutan masuk ke dalam *continuous furnace* hingga keluar.
6. *Refractory* : material dengan temperatur leleh tinggi untuk mengisolasi panas didalam zona pemanasan.
7. Elemen Pemanas : bagian utama penyuplai panas pada zona pemanasan.
8. Rangka : kerangka untuk menempatkan komponen *continous furnace*.
9. *Fixture* : alat bantu untuk menempatkan benda kerja saat pengerjaan mesin
10. *Control panel* : pusat pengendalian sistem dari *continuous furnace*.

4.2.2 Panel Kontrol

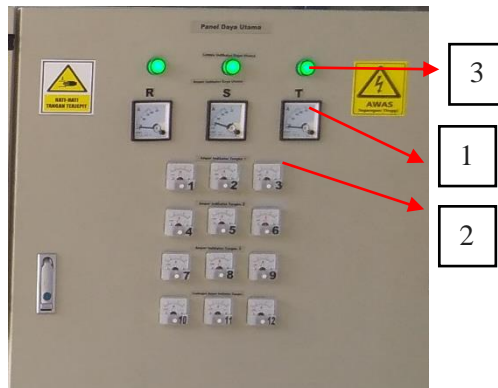
Panel kontrol berfungsi sebagai tempat kendali utama dari kinerja *continuous furnac*. Panel kontrol terdiri dari 3 bagian yaitu, panel kontrol daya utama, temperatur tungku, dan conveyor.

1. Panel kontrol daya utama

Pada panel kontrol daya utama terdiri dari 3 bagian, yaitu :

1. Ampere meter daya masuk
 2. Ampere meter elemen pemanas
-

3. Lampu indikator

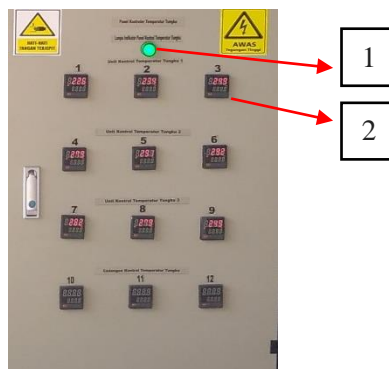


Gambar 4.3 Panel Kontrol Daya Utama

2. Panel kontrol temperatur tungku

Pada panel kontrol temperatur tungku terdapat 2 bagian, yaitu

1. Lampu indikator
2. PID *control* temperatur

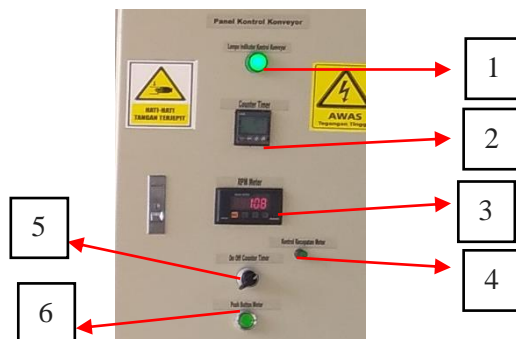


Gambar 4.4 Panel Kontrol Temperatur Tungku

3. Panel kontrol konveyor

Pada panel kontrol konveyor terdiri dari 6 bagian yaitu :

1. Lampu indikator
2. *Timer*
3. Rpm meter
4. Tuas pengatur kecepatan motor
5. Tuas on/off timer
6. Starter motor



Gambar 4.5 Panel Kontrol Konveyor

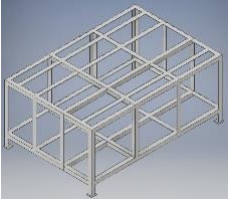



4.2.3 Kelistrikan


Continuous *furnace* pada penelitian ini menggunakan sumber energi listrik pada perapiannya, dan juga pada setting panel untuk pengaturan temperatur dan gerak mekanik komponen. Untuk setting panel sendiri sebagai berikut pada **Lampiran 1**

4.2.4 Standar Operasional Instalasi *Continuous Furnace*

Standar instalasi *continuous furnace* dibuat untuk memudahkan proses agar lebih sistematis dan efisien.

Tabel 4.16 Standar Operasional Instalasi

1.	Menyambungkan 2 kerangka dasar untuk tempat komponen <i>furnace</i> dengan mur dan baut, kencangkan searah jarum jam	
2.	menyambungkan penyangga konveyor pada bagian depan dan belakang rangka <i>furnace</i> dengan mur dan baut, kencangkan searah jarum jam	
3.	memasang unit zona <i>furnace</i> pada rangka dengan mur dan baut di bagian bawah unit zona <i>furnace</i> , kencangkan searah jarum jam	
4.	menyambung tiap unit zona <i>furnace</i> dengan mur dan baut pada bagian tiap ruas samping, kencangkan searah jarum jam	

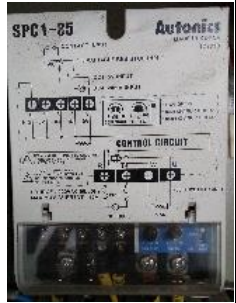



5.	Memasukkan conveyor ke dalam ruang <i>furnace</i> , kemudian sambungkan dengan sisi lain conveyor	
6.	Memasang roller penyangga, rantai penghubung gearbox dan shaft conveyor dengan mur dan baut, kencangkan searah jarum jam	
7.	Memasang motor penggerak yang telah dirangkai dengan <i>inductive proximity sensor</i> padaudukan rangka dengan mur , hubungkan shaft <i>coupling</i> dari motor penggerak dan gearbox, kencangkan searah jarum jam	
8.	memastikan penampakannya seperti gambar di samping	
9	Memasang tutup tungku, kencangkan dengan mur dan baut.	



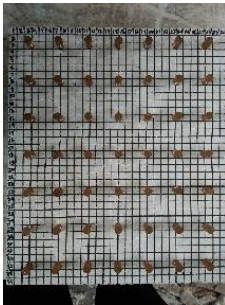
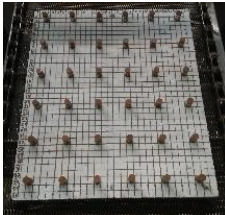
4.2.5 Standar Operasional Continuous *Furnace*


Berikut standard operasional operasi continuous *furnace* :

Tabel 4.17 Standar Operasional Operasi Menyalakan *Furnace*

No.	Langkah	Keterangan
1.	Menghubungkan continuous <i>furnace</i> ke sumber energi	
2.	Menyalakan/menaikkan saklar breaker daya utama	
3.	Menyalakan breaker tiap panel kontrol	

4.	Mengatur PCI agar arus tetap di bawah 15 ampere	
5.	Mengatur temperatur pemanasan pada PID control, dengan temperatur yang sesuai untuk sintering peluru frangible. Susunan temperatur sesuai Tabel 4.9	
6.	Menyalakan counter timer dengan dengan memutar tuas on/off timer searah jarum jam	
7.	Sambil menunggu temperatur konstan, atur setting waktu pada timer, dengan setiap 60 detik motor penggerak conveyor akan bergerak, dan mati setelah 120 detik kemudian.	

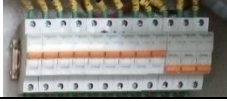


8.	Tekan tombol hijau untuk menjalankan konveyor	
9.	Mengatur kecepatan konveyor pada 0,18 rpm atau setara 47,5 mm/menit.dengan memutar tuas berlawanan arah jarum jam.	
10.	Lihat pada PID control, setelah temperatur konstan, susun peluru di atas fixture keramik.	
11.	Letakkan peluru yang sudah disusun di atas fixture pada <i>feed zone continuous furnace</i> . Bersamaan dengan berjalannya konveyor peluru akan masuk ke dalam <i>furnace</i> .	
12.	Setelah fixture sudah masuk semua ke dalam <i>furnace</i> , selanjutnya	

	dilakukan langkah 10 secara berkelanjutan	
13.	Setelah fixture sudah mencapai <i>cooling zone</i> , peluru sudah dapat dikeluarkan dari <i>furnace</i> dan siap untuk proses selanjutnya	

Tabel 4.18 Setting Panel Temperatur

<div style="display: inline-block; transform: rotate(-45deg);"><i>Furnace</i></div> <div style="display: inline-block; transform: rotate(45deg);">Zona</div>	1(°C)	2(°C)	3(°C)
Awal	230	240	240
Tengah	310	320	310
Akhir	280	290	280

Tabel 4.19 Standar Operasional Mematikan *Continuous Furnace*

No.	Langkah	Keterangan
1.	Mematikan tiap breaker panel kontrol dengan menarik tuas ke bawah	
2.	Mematikan breaker daya utama dengan menarik tuas ke bawah	
3.	Melepas steker 3 fasa dari sumber listrik	

4.2.6 Pembersihan dan Perawatan

Panel kontrol yang memiliki kipas angin untuk sirkulasi udara dalam panel mengakibatkan debu dapat masuk dalam ruang panel. Untuk membersihkannya dapat dilakukan langkah berikut.

- Matikan *continuous furnace*, seperti ditunjukkan **Tabel 4.20**
- Tunggu beberapa menit untuk memastikan tidak ada tegangan

- Bersihkan ruang *furnace* dengan hati – hati, agar tidak merusak komponen dan menggeser sambungan rangkaian listrik.
- Gunakan alat pembersih yang aman tidak tajam.

Untuk menjaga *continuous furnace* agar tetap bekerja dengan baik, diperlukan perawatan. Pastikan sambungan – sambungan pada tiap komponen kuat dan tidak renggang. Untuk menghindari *electron jump* karena penggunaan tegangan tinggi terutama pada elemen pemanas.

4.2.7 Batasan – Batasan

- Breaker daya tiap unit kontrol daya tungku 25 Ampere , jadi usahakan di setiap Amper indikator tungku kurang dari 25 ampere caranya bisa dirubah dipower qoin di unit kontrol daya tinggi.
- Kecepatan naik suhu 5° / menit
- Karena beban berat konveyor sewaktu Counter Timer nyala (hidup/mati) maka kontrol kecepatan motor tidak boleh diputar maksimal (penuh) karena motor akan berhenti dan bisa merusak motor konveyor.
- Maksimal kontrol kecepatan motor kurang dari $\frac{1}{2}$ kecepatan maksimal (kontrol kecepatan motor : kurang dari < 110 rpm).

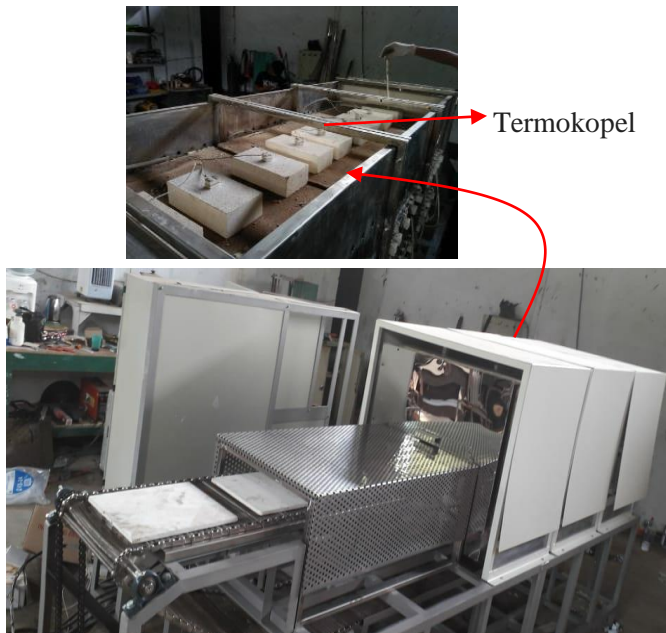
4.3 Pengujian Kinerja, Efisiensi, Dan Optimasi Continuous Furnace

4.3.1 Pengujian Kinerja Termokopel Termal Continuous Furnace

Termokopel pada *continuous furnace* berfungsi untuk membaca temperatur. Dalam sistem pemanasan termokopel berinteraksi dengan PID control dan elemen pemanas, jika

pembacaan termokopel kurang PID control akan memberi sinyal ke elemen pemanas untuk menambah panas.

Termokopel dipasang melalui atap *continuous furnace* seperti **Gambar 4.6** Dalam kinerjanya selama uji coba terdapat ketidaksesuaian, sehingga perlu dilakukan kalibrasi ulang untuk memperbaiki pembacaan termokopel .



Gambar 4.6 Posisi Termokopel Termal Continuous *Furnace*




Termokopel

Gambar 4.7 Kalibrasi Termokopel

Tabel 4.20 Data Hasil Percobaan Kalibrasi Sebelum Preparasi

Termokopel	Temperatur acuan (°C)	Pengujian			Rata-rata
		1	2	3	
1	300	303	299	303	301,67
2		289	289	294	289,33
3		298	298	299	298,33
4		299	300	300	299,67
5		299	300	300	299,67
6		303	300	301	301,33
7		302	300	300	300,67
8		300	299	300	299,67
9		289	284	285	286

*  = tidak sesuai

Pada percobaan kalibrasi pertama (**Gambar 4.7**) didapatkan pembacaan (**Tabel 4.20**) termokopel yang beda lebih dari 10°C dari temperatur acuan. Padahal toleransi beda temperatur yang diijinkan $\pm 5^\circ\text{C}$ sehingga termokopel perlu dilakukan *set-up* ulang.

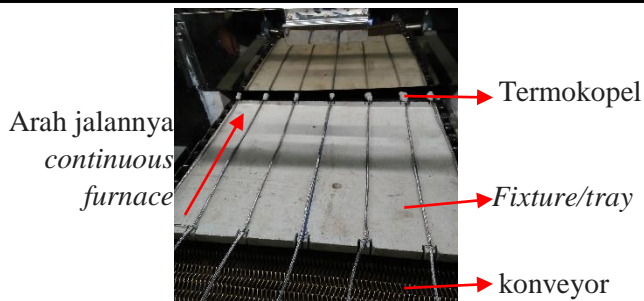
Tabel 4.21 Data Hasil Percobaan Kalibrasi Termokopel Setelah Preparasi

Termokopel	Temperatur acuan (°C)	Pengujian			Rata-rata
		1	2	3	
1	300	303	299	303	301,67
2		300	303	302	301,67
3		298	298	299	298,33
4		299	300	300	299,67
5		299	300	300	299,67
6		303	300	301	301,33
7		302	300	300	300,67
8		300	299	300	299,67
9		303	301	299	301

Dari **Tabel 4.21** didapatkan pembacaan temperatur dengan rentang 298,33 – 301,67. Data tersebut memiliki selisih tidak lebih dari 10°C dari temperatur acuan sehingga memenuhi syarat untuk digunakan.

4.3.2 Pengujian Keseragaman Temperatur

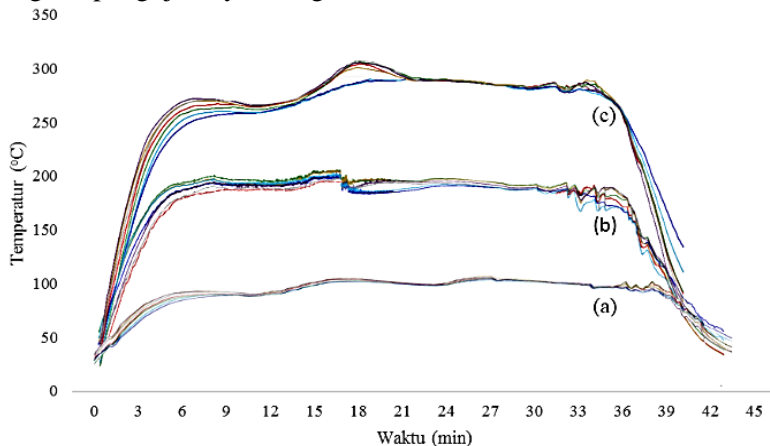
Aspek penting pada continuous *furnace* adalah perlu untuk memastikan temperatur pada ruang *furnace* memiliki keseragaman temperatur. Sehingga perlu dilakukan pengujian keseragaman temperatur dengan langkah seperti **Tabel 3.2**. Posisi termokopel untuk pengujian keseragaman temperatur dinyatakan **Gambar 4.8**.



Gambar 4.8 Termokopel Uji Distribusi Temperatur Mulai Masuk *Continuous Furnace*

- Pre Uji Coba Distribusi Temperatur

Pre-uji coba merupakan uji coba awal hanya untuk mengetahui keseragaman ruang zona pemanasan sehingga tidak menggunakan timer dalam pengoperasian. Pada pre-uji coba keseragaman temperatur, temperatur diatur sama di semua segmen elemen pemanas, yaitu pada temperatur 100, 200, 300°C. Untuk langkah pengujiannya sebagaimana **Tabel 3.2**.



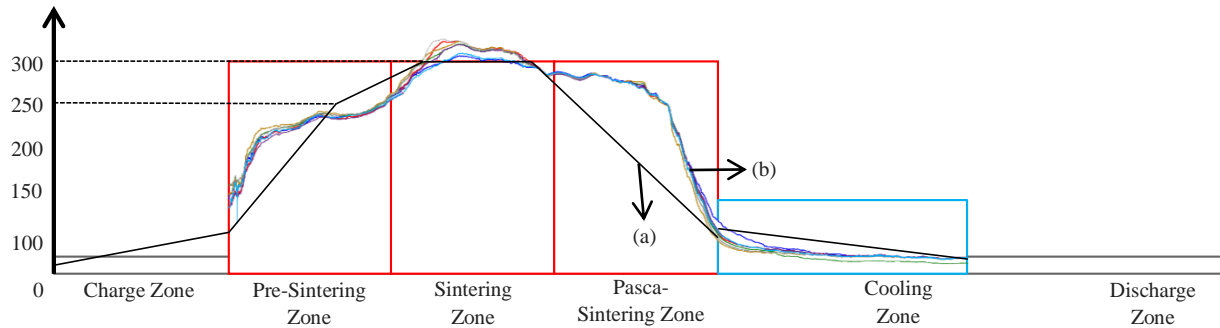
Gambar 4.9 Kurva Pre-Uji Coba Didtribusi Temperatur (a) 100°C, (b) 200°C, (c) 300°C

Hasil percobaan (**Gambar 4.9**) menunjukkan kurva pada pengujian temperatur 100°C, 200°C, 300°C berjalan beriringan di setiap temperatur uji, hal tersebut menunjukkan distribusi temperatur pada ruang *furnace* sudah homogen.

- Uji Coba Distribusi Temperatur Sesuai Standar Operasi

Uji coba sesuai standar operasi untuk mengetahui keseragaman temperatur pada ruang *furnace* dengan menjalankan *continuous furnace* sesuai standar dengan setting panel sesuai dengan **Tabel 4.18**. Pada uji coba ini juga digunakan timer dalam pengoperasian. Dengan grafik desain temperatur pada setiap zona pemanasan sebagai berikut .

1. Pre-sintering : 150 – 250 °C
2. Sintering : 250 – 300 °C
3. Pasca-sintering : 260 – 90 °C

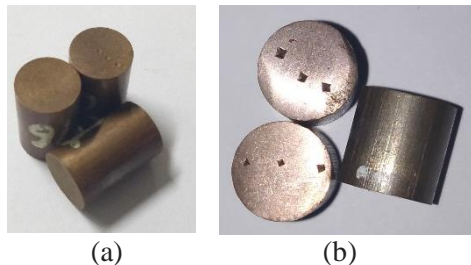


Gambar 4.10 Proyeksi Bacaan Temperatur Pada Skema Desain Continuous *Furnace* (a) Grafik Desain (b) Grafik Bacaan

Didapatkan hasil pembacaan temperatur seperti **Gambar 4.10** bahwa pada semua kenaikan dan penurunan temperatur grafik terlihat berdampingan menandakan bahwa temperatur di berbagai posisi memiliki kesamaan, hanya terdapat *gap* kecil yang memiliki beda temperatur sekitar 10°C. Untuk skala industri hal tersebut dapat di tolerir.

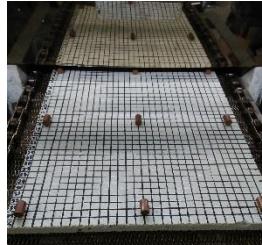
4.3.3 Pengaruh Posisi Peletakan Sampel Terhadap Kekerasan Sampel

Setelah dilakukan rancang bangun untuk merealisasikan desain yang telah dibuat dan memastikan distribusi temperatur kerja *continuous furnace* seragam pada tiap zona, selanjutnya dilakukan uji coba *sintering* dari kinerja *continuous furnace*. Pengujian kinerja ini dilakukan dengan meletakkan sampel dengan ukuran seperti **Gambar 4.11** pada *continuous furnace* dan menjalankan proses sintering. Respon kinerja *continuous furnace* terhadap sampel diukur dengan mengukur nilai kekerasan sampel sebelum dan setelah proses sintering.



Gambar 4.11 Sampel Yang Digunakan (a) Cu Rod, (b) CuSn Kompaksi

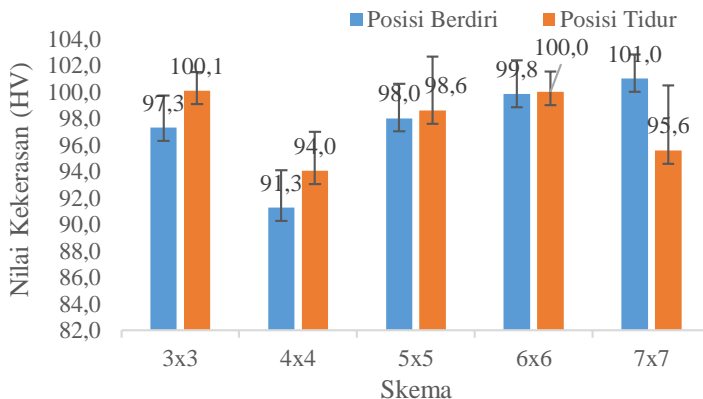
Pada penelitian ini menggunakan 2 jenis sampel, yaitu Cu rod dan CuSn serbuk yang dikompaksi. Sampel ini akan dimasukkan kedalam *continuous furnace* untuk melihat respon kinerja alat dengan posisi sebagaimana **Gambar 4.12**.



Gambar 4.12 Sampel Mulai Masuk *Continuous Furnace*

Pada penelitian kali ini diambil variabel dari posisi peluru diatas *fixture*. Kemudian peluru disusun dengan skema 3x3, 4x4, 5x5, 6x6, 7x7 masing – masing vertikal dan horizontal seperti **Gambar 3.12** dengan titik koordinat seperti **Tabel 3.3**. Untuk mengetahui mana posisi dan jumlah optimal untuk produksi sintering, mengingat juga untuk memenuhi produksi kapasitas industri maka dibutuhkan pemrosesan dengan jumlah atau kapasitas yang besar pula.

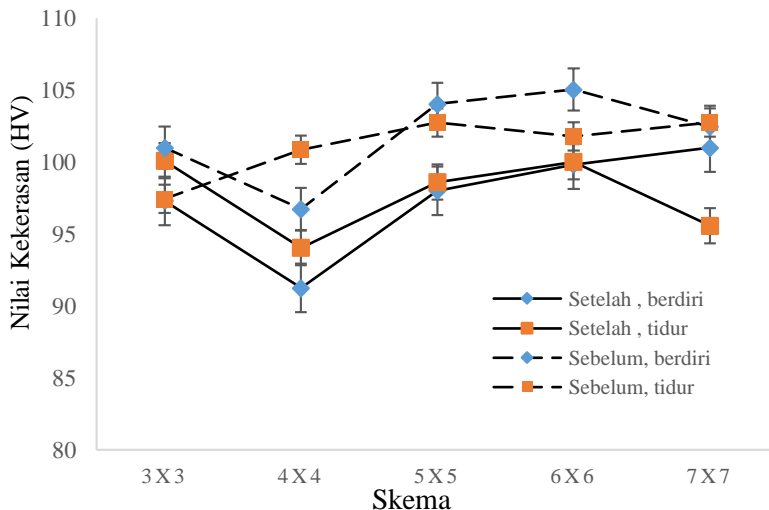
a) Sampel Cu rod



Gambar 4.13 Diagram Pengaruh Posisi Terhadap Kekerasan Sampel Cu Rod Setelah Sintering

Setelah diuji kekerasan didapatkan kurva seperti **Gambar 4.13**. Sample memiliki kekerasan awal 102,261 HV. Trend grafik menunjukkan rata – rata naik. Pada grafik posisi vertikal dan horizontal alur naik turunnya hampir sama, hanya beda pada skema 7x7. Trend grafik minimum terdapat pada skema 4x4 yang memiliki kekerasan paling kecil pada rentang 91-94 HV dari pada skema lainnya yang memiliki kekerasan di atas 96 HV karena dari data kekerasan awal pada skema tersebut menunjukkan kekerasan yang menurun pula. Dari grafik juga dapat dilihat skema dan posisi trend grafik maksimum yang memiliki kekerasan paling tinggi yaitu skema 7x7 pada posisi vertikal.

Trend grafik optimum terdapat pada sampel dengan posisi horizontal pada skema 6x6 dimana grafik mengalami penurunan pada skema 7x7. Sedangkan untuk sampel posisi horizontal grafik linear relatif naik hanya mengalami penurunan pada skema 4x4.



Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Kekerasan Sebelum Dan Setelah Sintering

Besar kekerasan dari sample peluru yang telah di sintering pada *continuous furnace* mempunyai kekerasan yang berbeda atau mengalami perubahan seperti **Gambar 4.14**. Trend kurva menunjukkan rata – rata naik. Dapat dilihat garis kurva dengan garis putus – putus adalah sample setelah sintering yang mana garis tersebut berada pada daerah bawah sedangkan, sedangkan garis kurva dengan garis utuh adalah sample sebelum sintering yang mana berada pada daerah atas atau memiliki kekerasan yang lebih besar dari pada sample setelah sintering. Tampak juga skema 6x6 posisi horizontal memiliki kekerasan di titik optimum . pada skema 4x4 memiliki kekerasan paling minimum dan trend turun karena data hasil kekerasan sample pada skema tersebut sebelum sinter yang sudah rendah dari awal. Perubahan kekerasan sample sebelum sinter dan sesudah sinter tersebut dapat disimpulkan *continuous furnace* bekerja dengan baik sesuai standar. Untuk hasil perubahan dari sample yang turun nilai kekerasannya, hal tersebut karena proses sintering pada *continuous furnace* adalah termasuk laku panas atau *heat treatment* dan sample uji yang digunakan adalah tembaga *casting* yang dimanufaktur menjadi *rod*. Sehingga *heat treatment* sama dengan proses aniling, dimana dalam proses anil terjadi pelepasan tegangan akibat pemanasan pada temperatur tertentu dan menjadikan kekerasan sample menurun. (Avner, 1974).

Dari trend grafik **Gambar 4.14** dapat disimpulkan juga bahwa posisi dan skema tidak berpengaruh pada nilai kekerasan, hal tersebut dapat dilihat pada nilai kekerasan setelah sintering titik skema 6x6 dengan posisi vertikal dan horizontal rentang nilai kekerasannya tidak begitu besar, namun pada skema 7x7 dengan posisi vertikal dan horizontal terjadi rentang nilai kekerasan yang lebih besar dengan nilai kekerasan pada posisi vertikal yang masih dapat naik trend grafiknya.

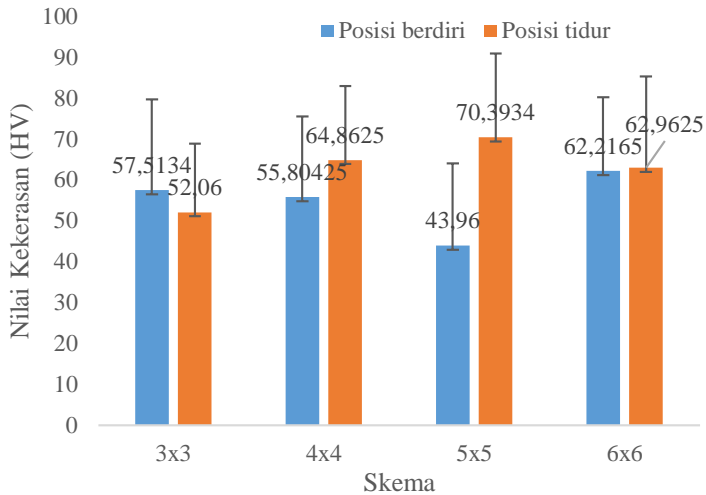


Gambar 4.15 Sampel Uji (a) Sebelum Sintering, (b) Setelah Sintering

Indikator *continuous furnace* berjalan dengan baik juga dapat dilihat pada hasil visual dari sampel sebelum dan sesudah sintering. Terlihat (**Gambar 4.15**) sampel sebelum sintering berwarna kuning kecoklatan, sedangkan setelah sintering berwarna abu-abu gelap. Hal tersebut menjawab fungsi dari setiap zona dimana saat sampel berada pada zona *pre-sintering* lubricant saat manufaktur sampel sebelum proses sintering keluar ke permukaan sehingga warna sampel berubah.

b) Sampel Cu-5wt%Sn asli serbuk

Sampel CuSn yang sebelumnya telah di manufaktur dengan alat kompaksi, selanjutnya akan masukkan ke dalam *continuous furnace* untuk meningkatkan kekerasan dengan metode sintering. Dengan tahapan dan langkah seperti pengujian sampel sebelumnya. Diharapkan sampel dapat memiliki kekerasan sesuai standar peluru *frangible* yaitu rentang 61,5 – 118,6 HV.



Gambar 4.16 Kurva Pengaruh Posisi Terhadap Kekerasan Sampel Peluru Setelah Sintering

Dari hasil uji kekerasan (**Gambar 4.16**) didapatkan hasil dengan rentang kekerasan 43,96 – 70,39. Dengan nilai paling kecil pada skema 5x5 posisi vertikal, dan nilai kekerasan paling tinggi pada skema 5x5 posisi horizontal. Sehingga dari data kekerasan yang didapat ada sampel yang tidak memenuhi kriteria kekerasan sesuai standar (**Tabel 4.22**) tingkat kesesuaian kriteria dinyatakan dalam ratio presentase Persamaan 4.1.

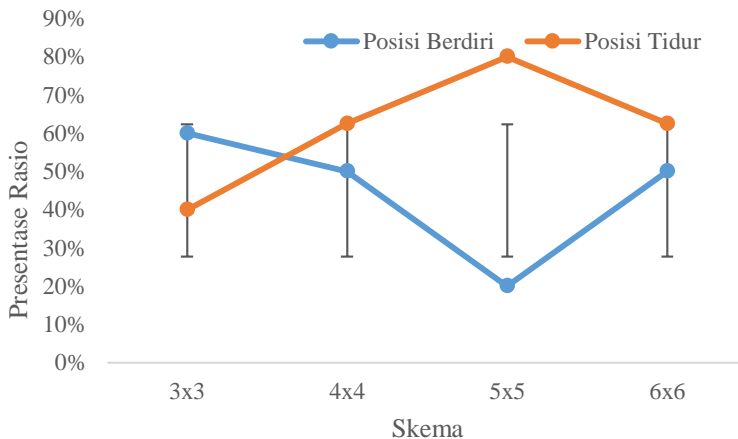
$$\text{Presentase Rasio} = \frac{\text{Sampel yang memenuhi kriteria}}{\text{Banyaknya sampel yang diuji}} (\%) \quad 4.1$$

Tabel 4.22 Hasil Uji Kekerasan Dan Jumlah Sampel Yang Memenuhi Kriteria

Skema	Jumlah Sampel Uji	Presentasi Rasio (%)	
		Posisi Vertikal	Posisi Horizontal
3x3	9	60,0	40
4x4	16	50,0	62,5

5x5	25	20,0	80
6x6	36	50,0	62,5
Rata – Rata		45,0	61,25

Terlihat pada **Tabel 4.22** rasio presentase keberhasilan sampel yang memenuhi kriteria. Dapat dianalisis ketercapaian sampel memenuhi kriteria maka sampel paling optimum adalah pada skema 6x6 dan 4x4 pada posisi horizontal dengan rasio presentase 62,5%. Dengan rata-rata presentase rasio posisi horizontal lebih besar dari pada posisi vertikal sehingga posisi horizontal lebih optimal.



Gambar 4.17 Grafik Presentase Rasio Keberhasilan Sampel

Dari **Gambar 4.17** terlihat trend grafik yang dapat menunjukkan berapa banyak sampel yang bisa diproses sinter dan memenuhi kriteria satandar. Namun ternyata hasil kekerasan sampel setelah sinter banyak yang tidak sesuai standar, hal tersebut dikarenakan dies mesin kompaksi yang belum standar *compact*. Hal ini didukung dengan fakta bahwa sebelum dilakukan perbaikan dengan menyambung punch kompaksi menggunakan lem, dies

kompaksi tidak bisa menghasilkan material peluru dengan bentuk sesuai cetakan. Menyebabkan material hasil kompaksi sebelum disinter memiliki nilai kekerasan yang tidak homogen.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pemilihan komponen sesuai spesifikasi sesuai **Tabel 4.16**
2. Standar operasional instalasi *continuous furnace* ditunjukkan pada **Lampiran 2**
3. Standar operasional *continuous furnace* ditunjukkan pada **Lampiran 2**
4. Posisi paling optimum pada sampel Cu rod adalah sampel skema 6x6 posisi horizontal dengan kekerasan 100,00 HV. Posisi paling optimum untuk Cu kompaksi adalah sampel skema 5x5 posisi horizontal dengan kekerasan 70,39 HV

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk variasi uji coba posisi sampel.
2. Sampel yang digunakan agar sesuai standar dengan kompaksi yang sesuai standar pula.
3. Membangun gardu listrik sendiri untuk *continuous furnace* agar kinerjanya optimal.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Alaa A. Hassan, M. S. (2012). **Modeling of Heat Treatment of Randomly Distributed Loads in Multizone Continuous Furnaces**. *Materials Science Forum Vols. 706-709* , 289-294.
- Alaneme, K. K., & Olarewaju, S. O. (2010). **Design Of A Diesel Fired Heat Treatment Furnace**. *JMMCE*, 581-591.
- Anchor, R. P. (2019). **Technical Data Conveyor Belt Formula**. Newington: Anchor Rubber Company.
- Avner, S. H. (1974). **Introduction To Physical Metallurgy Second Edition**. Singapore: McGraw-Hill.
- Effendi, M. D. (2001). **Merancang Alat-Alat Proses Produksi Utama Pada Proses Pembuatan Magnesium Carbonat Dari Dolomite Dan Coke**. Bali: Politeknik UNUD.
- FEMA. (1999). **Guide To Developing Effective Standard Operating Procedures for Fire and EMS Departements**. <http://www.usfa.fema.gov/downloads/pdf/publications/fa-197.pdf> .
- Fenner Dunlop. (2009). **Conveyor Handbook**. Australia: Fenner Dunlop.
- Incropera. (2007). **Fundamental Of Heat And Mass Transfer**. USA: John Wiley.
- J. Komenda, X. B. (2017). **Evaluation Method of Frangible Bullets Frangibility**. *Advances in Military Technology*, 185-193.
- Jonas, M. T. (2017). **Studi Rancang Bangun Dan Temperatur Zona Continuous Furnace Sintering Material Frangible Cu-5wt%Sn**. Surabaya: ITS Press.
- Made , A. N., Hartono , Y., & Wilma , A. (2017). **Perancangan Sistem Shaft Locked Untuk Mencegah Kerusakan Gearbox Pada Kapal Layar Motor Archipelago Adventurer II** . *Jurnal Teknik Perkapalan*, 496-501.

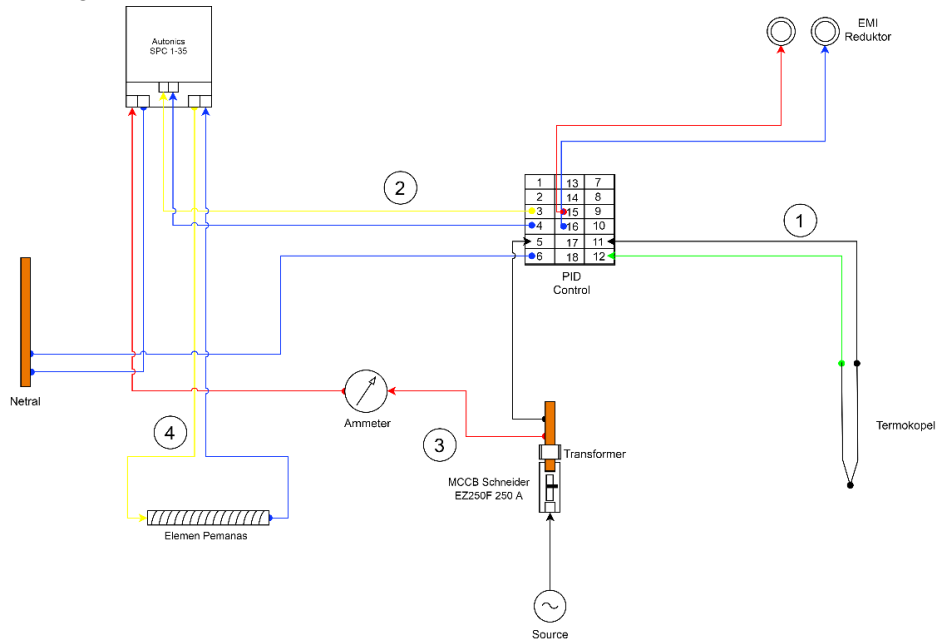
-
- Nabertherm. (t.thn.). *Advanced Materials*. Lilienthal:
Nabertherm.
- Nabertherm. (t.thn.). *Temperature Uniformity and System Accuracy*. Nabertherm.
- Peter Mullinger, B. J. (2008). *Industrial and Process Furnaces*. **Burlington**: Elsevier.
- Puram. (2010). *Bureau Of Energy Efficiency*. New Delhi:
Ministry of Power.
- Puram., R. K. (2010). *Energy Efficient Oil Fired Reheating Furnace*. New Delhi: Bureau of Energy.
- Purushothaman, R. (2008). *Evaluation and Improvement of Heat Treat Furnace Model*. Massachusetts: Worcester
Polytechnic Institute.
- Putri, K. S., Agus, I. G., & Palit, H. C. (2015). **Peningkatan Kpasitas Produksi Pada PT. Adicitra Bhirawa**. *Jurnal Titra*, 69-76.
- Rahmat, M. R. (2015). **Perancangan Dan Pembuatan Tungku Heat Treatment** . *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, Vol. 3 No. 2, 133-148.
- Riken, R. E. (2008). *Heating Material*. kumagaya: ACO.
- Sandvik. (1999). *Kanthal Super Electric Heating Element Handbook*. Hallstahammar: PRIMATryck.
- Serope Kalpakjian, S. R. (2009). *Manufacturing Engineering and Technology*. Singapore: Prentice Hall.
- Suehiro. (2008). *Pyromax Heating Material*. kumagaya: Riken Environmental.
- Suherman, I. W. (2003). *Ilmu Logam II*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sutarya, D. (2008). *Analisis Unjuk Kerja Thermocouple W3re25 Pada Suhu Penyinteran 1500* . ISSN 1979-2409, 16-24.
- Syahrul. (2012). *Motor Stepper : Teknologi, Metoda, dan Rangkaian Kontrol*. Majalah Ilmiah UNIKOM , 187-201.
-

-
- Taufik Akbar, W. (2013). ***Pengaruh Temperatur Dan Waktu Tahan Sintering Terhadap Kekerasan Dan Modulus Elastisitas Mmcs Pb-Sn Menggunakan Proses Metalurgi Serbuk Untuk Aplikasi Core Projektil Peluru***. Jurnal Teknik POMITS Vol. 2, 1-6.
- Tonk, T. J. (1946). ***Element Design***. west midland: Alloy Wire International.
- Triyono. (2008). ***Aplikasi Dan Uji Fungsi Sensor Suhu Termokopel Tipe K3 Pada Unit Reduksi***. Penelitian dan Pengelolaan Perangkat Nuklir (hal. 420-426). Yogyakarta: PTAPB-BATAN.
- Vert, T. (2016). ***Refractory Material Selection for Steelmaking***. American Ceramic Society Bulletin, Vol. 95, No. 2, 22-28.
- Vicko Gestantyo, W. (2014). ***Pengaruh Komposisi Sn dan Variasi Tekanan Kompaksi terhadap Densitas dan Kekerasan Komposit Cu-Sn untuk Aplikasi Projektil Peluru Frangible dengan Metode Metalurgi Serbuk***. Jurnal Teknik POMITS, 102-107.
- Wachid, S. (1987). ***Perlakuan Panas***. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin, FTI-ITS.
- Wehr, A. (2011). ***Service Life Extension of Stainless Steel Wire Mesh Belt for Sintering Furnace***. Allentown: Air Product Inc.
- William D. Callister, Jr. David G. Rethwisch. (2014). ***Material Science and Engineering***. USA: Wiley.
- Wismogroho, A. S. (2018). Tangerang Selatan: LIPI.
-

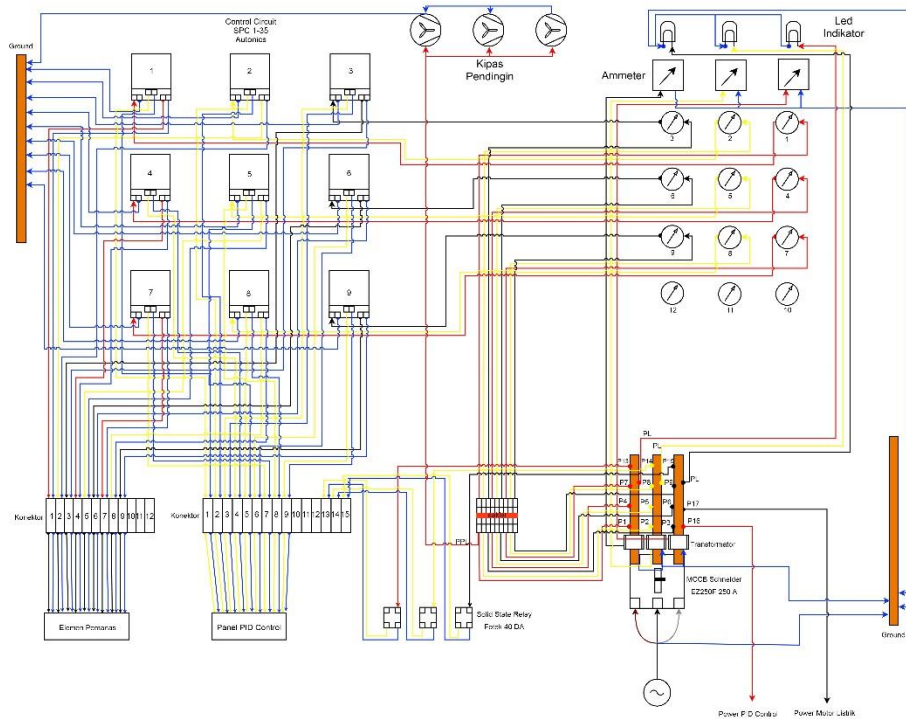
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

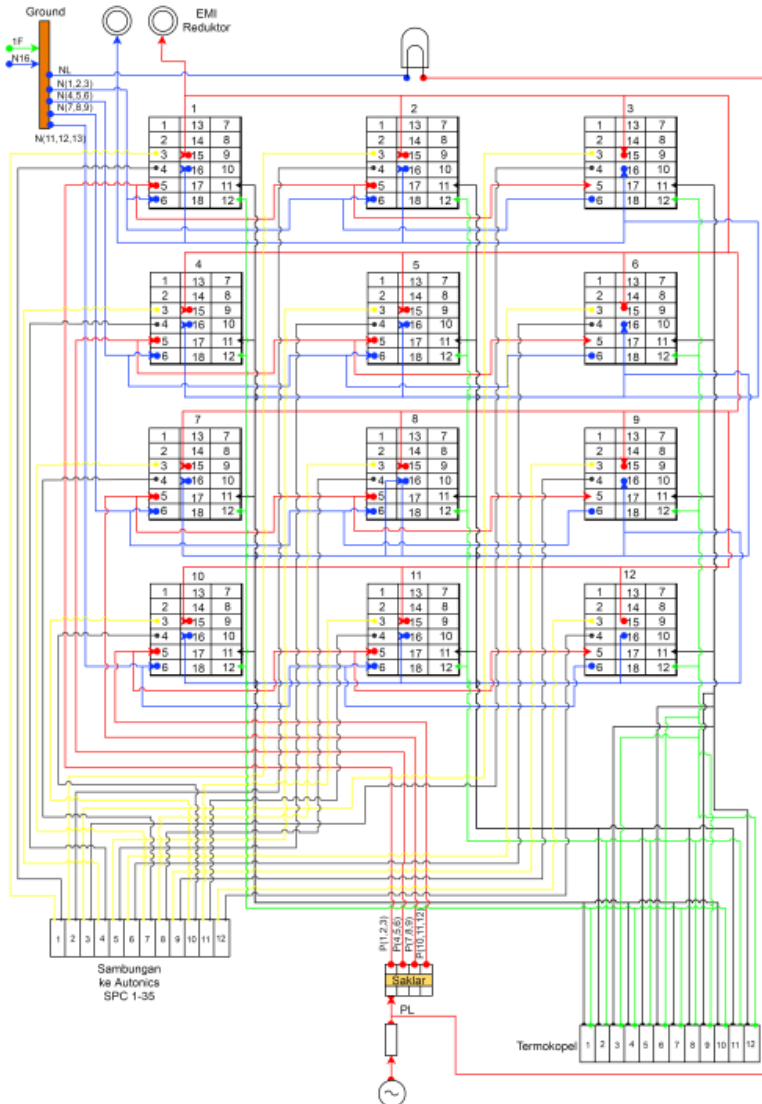
Lampiran 1. Rangkaian Listrik Kontrol Panel



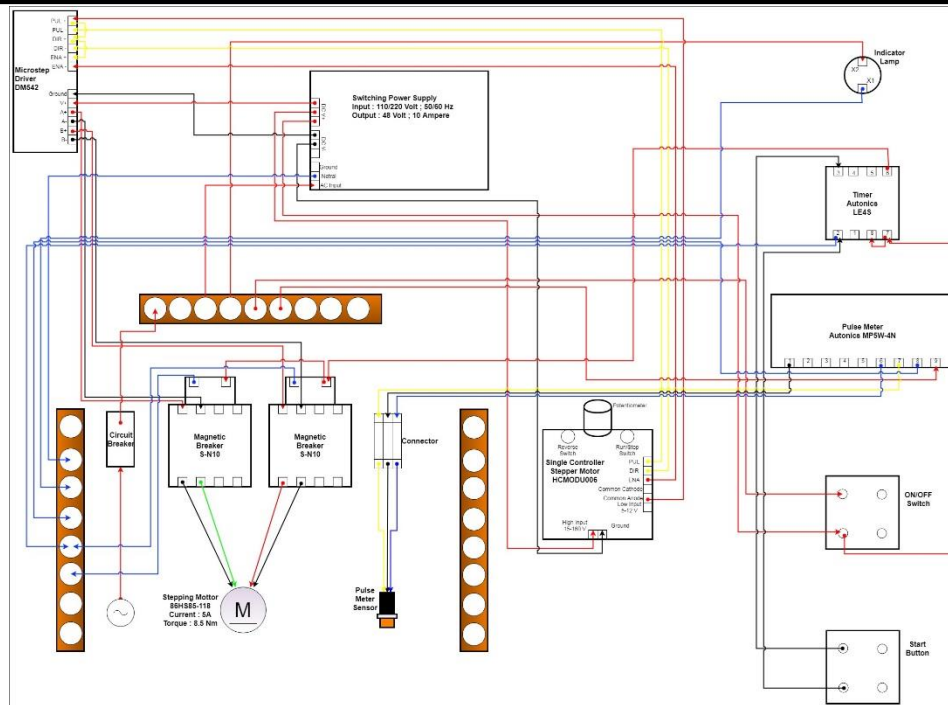
Rangkaian Listrik Utama



Rangkaian Listrik Panel Kontrol Daya Utama



Rangkaian Listrik Panel Kontrol Temperatur Tungku

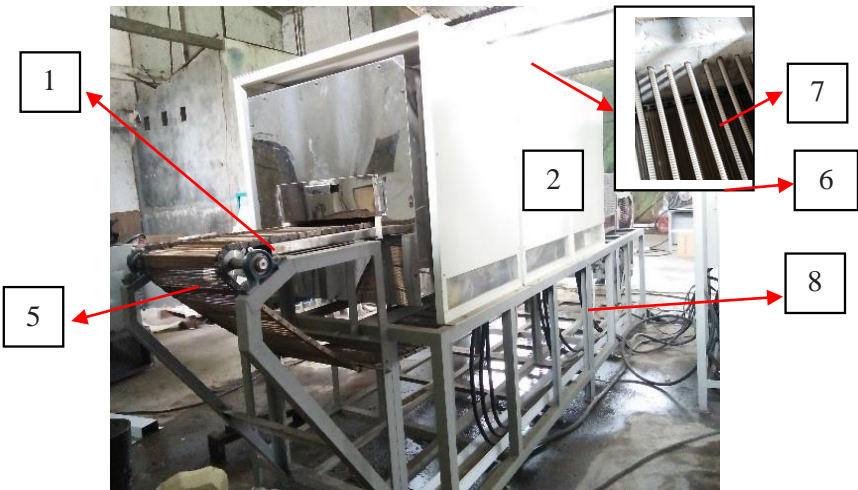


Rangkaian Listrik Panel kontrol konveyor

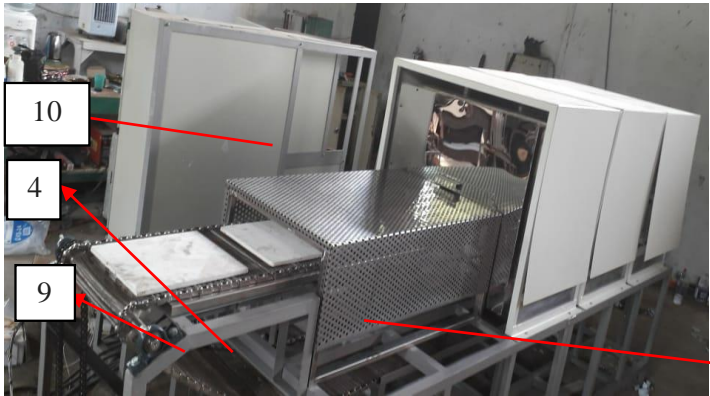
Lampiran 2.

PETUNJUK PENGGUNAAN
CONTINUOUS FURNACE FRANGIBLE BULLET

NAMA – NAMA BAGIAN



(a) Tampak depan



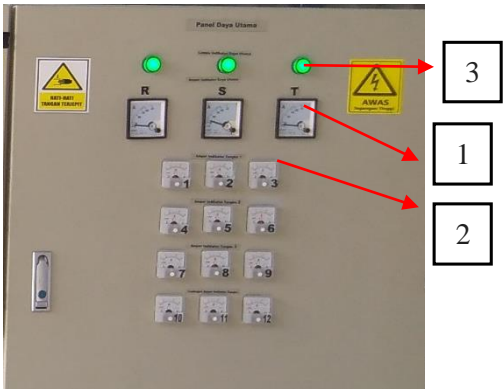
(b) Tampak belakang

1. Feed Zone : bagian awal dari continuous furnace, untuk peletakan peluru yang akan di sintering.
2. Zona Pemanasan : zona dimana material mengalami pemanasan. Terdapat 3 chamber pada zona pemanasan, yaitu ; pre-sintering, sintering, dan pasca-sintering.
3. Zona Pendinginan : zona untuk mendinginkan peluru setelah proses pemanasan, untuk memudahkan proses selanjutnya.
4. Discharge Zone : zona untuk mengambil peluru yang sudah mengalami pendinginan untuk diproses lebih lanjut.
5. Conveyor Belt : material handling untuk peluru secara berkelanjutan masuk ke dalam continuous furnace hingga keluar.
6. Refractory : material dengan temperatur leleh tinggi untuk mengisolasi panas didalam zona pemanasan.
7. Elemen Pemanas : bagian utama penyuplai panas pada zona pemanasan.
8. Rangka : kerangka untuk menempatkan komponen continous furnace.
9. Fixture : alat bantu untuk menempatkan benda kerja saat pengerjaan mesin
10. Control panel : pusat pengendalian sistem dari continuous furnace.

SPESIFIKASI

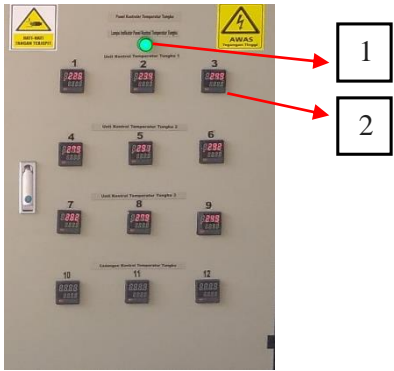
Aplikasi		Desain TA
Elemen Pemanas	Material	FeCrAl alloy
	Temperatur Maks (°C)	1300
	Temperatur kerja (°C)	260-400
	Jumlah (m)	28,125/zona
	Panjang (mm)	3125/segmen
	Diameter (mm)	1,6
	Konduktivitas Thermal (°C) (W/mK)	(1200) 2/
Sistem Insulasi	Jenis Material	Insulating Brick CI, Ceramic Fiber Paper,
	Nilai Konduktivitas (W/mK)	0,40 ; 2,04
	Resistivitas Thermal	0,330
	Jumlah Layer	2
	Tebal Total (mm)	11/
	Densitas (kg/m³)	1060
Sistem Pendinginan		Udara
Conveyor	Tipe	Mesh Belt
	Material	Stainless steel
	Lebar (mm)	400
	Panjang (mm)	4000
	Penggerak	Motor Stepper
Sistem Kontrol	Temperatur	PID Control
	Thermocouple	Tipe K
	Heating rate (°C/min)	15
	Keseragaman Temp (°C)	±5
Atmosfer		Normal
Furnace Door		Front, Back-side open
Tegangan Kerja (V)		220
Input Energi (W)		11000
Jumlah Zona		3
Panjang Zona Pemanas (mm)		1952

PANEL KONTROL



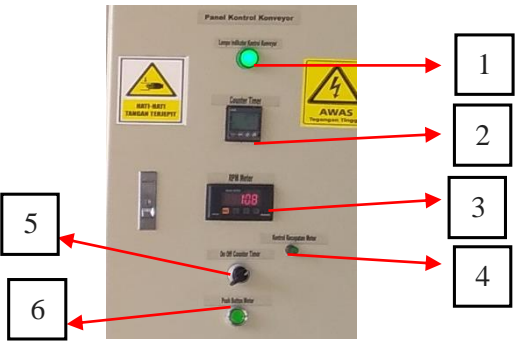
Panel kontrol daya utama

- Keterangan :
1. Amperemeter dayamasuk
 2. Amperemeter elemen pemanas
 3. Lampu indikator



Panel kontrol temperatur tungku

- Keterangan :
1. Lampu indikator
 2. PID control temperatur



Panel kontrol konveyor



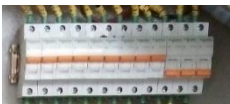
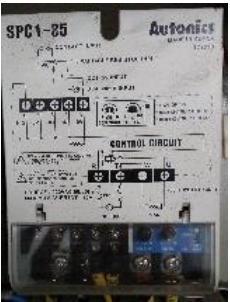



- Keterangan :
1. Lampu indikator
 2. Timer
 3. Rpm meter
 4. Tuas pengatur kecepatan motor
 5. Tuas on/off timer
 6. Starter motor




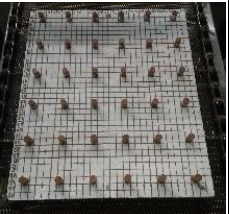

CARA INSTALASI

1. Menyambungkan 2 kerangka dasar untuk tempat komponen furnace dengan mur dan baut, kencangkan searah jarum jam	
2. menyambungkan penyangga konveyor pada bagian depan dan belakang rangka furnace dengan mur dan baut, kencangkan searah jarum jam	

3.	memasang unit zona <i>furnace</i> pada rangka dengan mur dan baut di bagian bawah unit zona <i>furnace</i> , kencangkan searah jarum jam	
4.	menyambung tiap unit zona <i>furnace</i> dengan mur dan baut pada bagian tiap ruas samping, kencangkan searah jarum jam	
5.	Memasukkan conveyor ke dalam ruang <i>furnace</i> , kemudian sambungkan dengan sisi lain conveyor	
6.	Memasang roller penyangga, rantai penghubung gearbox dan shaft conveyor dengan mur dan baut, kencangkan searah jarum jam	
7.	Memasang motor penggerak yang telah dirangkai dengan <i>inductive proximity sensor</i> pada dudukan rangka dengan mur , hubungkan shaft <i>coupling</i> dari motor penggerak dan gearbox, kencangkan searah jarum jam	
8.	memastikan penampakannya seperti gambar di samping	
9	Memasang tutup tungku, kencangkan dengan mur dan baut.	

CARA PENGGUNAAN











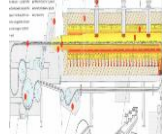

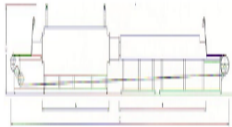
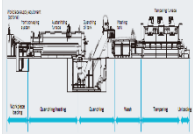
No.	Langkah	Keterangan
1.	Menghubungkan continuous <i>furnace</i> ke sumber energi	
2.	Menyalakan/menaikkan saklar breaker daya utama	
3.	Menyalakan breaker tiap panel kontrol	
4.	Mengatur PCI agar arus tetap di bawah 15 ampere	
5.	Mengatur temperatur pemanasan pada PID control, dengan temperatur yang sesuai untuk sintering peluru frangible. Susunan temperatur sesuai Tabel 4.9	
6.	Menyalakan counter timer dengan dengan memutar tuas on/off timer searah jarum jam	
7.	Sambil menunggu temperatur konstan, atur setting waktu pada timer, dengan setiap 60 detik motor penggerak conveyor akan bergerak, dan mati setelah 120 detik kemudian.	

8.	Tekan tombol hijau untuk menjalankan conveyor	
9.	Mengatur kecepatan conveyor pada 0,18 rpm atau setara 47,5 mm/menit.dengan memutar tuas berlawanan arah jarum jam.	
10.	Lihat pada PID control, setelah temperatur konstan, susun peluru di atas fixture keramik.	
11.	Letakkan peluru yang sudah disusun di atas fixture pada <i>feed zone continuous furnace</i> . Bersamaan dengan berjalannya conveyor peluru akan masuk ke dalam <i>furnace</i> .	
12.	Setelah fixture sudah masuk semua ke dalam <i>furnace</i> , selanjutnya dilakukan langkah 10 secara berkelanjutan	
13.	Setelah fixture sudah mencapai <i>cooling zone</i> , peluru sudah dapat dikeluarkan dari <i>furnace</i> dan siap untuk proses selanjutnya	











BATASAN – BATASAN

- Breaker daya tiap unit kontrol daya tungku 25 Ampere , jadi usahakan di setiap Amper indikator tungku kurang dari 25 ampere caranya bisa dirubah dipower qoin di unit kontrol daya tinggi.
- Kecepatan naik suhu 5° / menit
- Karena beban berat conveyor sewaktu Counter Timer nyala (hidup/mati) maka kontrol kecepatan motor tidak boleh diputar maksimal (penuh) karena motor akan berhenti dan bisa merusak motor conveyor.
- Maksimal kontrol kecepatan motor kurang dari ½ kecepatan maksimal (kontrol kecepatan motor : kurang dari < 110 rpm)

Lampiran 3. Perbandingan *furnace* yang ada dipasaran
Continuous furnace

Nama Brand		LuWei Furnace	Mahler Without Muffle	Mahler With Muffle	Mahler Sintering Furnace	Neuwai Conveyor Belt Sintering Furnace	SAFED Mesh Belt Conveyor Furnace	CIEFFE Belt Continous Furnace	SECOWARWICK Mesh Belt Conveyor Furnace	IVR Mesh Belt Furnace	Nachi Mesh Belt Continuous Furnace
A. Elemen Pemanas	Material	SiC rods						Ceramic SiC	Ceramic SiC		
	Temperatur Maks (°C)	1300	1150	1300	1300	1300		1150	1150	1050	900
	Temperatur kerja (°C)	1300	500 – 1150							1050	800-900
	Jumlah	-									
	Panjang	-									
	Diameter (mm)	-									
B. Sistem Insulasi	Konduktifitas Thermal (K) (W/m²K)	(300) 490									
	Jenis Material	High Purity Ceramic Fiber		Ceramic muffle	Ceramic muffle	Ceramic muffle	Light Weight Insulation				
	Nilai Konduktifitas (W/m²K)	2,04		0,71	0,71	0,71	0,209				
	Resistifitas Thermal									500	
	Jumlah Layer										
C. Sistem Pendinginan	Tebal Total										
	Densitas (kg/m³)	150		2000	2000	2000	950				
		Udara	Water convection	Water convection	Water convection	Water convection	Salt-Bath Quenching		Water convection	Quench atmosfer	Oil Quench
D. Conveyor	Conveyor										
	Tipe						Mesh Belt	Mesh Belt	Mesh Belt	Mesh Belt	Mesh Belt
	Lebar (mm)	Up to 1300	Up to 1200		300-1000	80	Nickel Chrome Alloy	Nickel Chrome Alloy	Nickel Chrome Alloy		Stainless Steel
	Panjang (mm)				16000-23000	8000	450			500	
E. Sistem Kontrol	Penggerak	Water convection	Water convection			Udara					
	Temperatur	PID Control					Motor driver				
	Thermocouple	Tipe S					Programmable Logic Controller (PLC)				
	Heating rate (°C/min)	15									
F. Atmosfer	Keseragaman Temp (°C)	±5									
		Normal	Protective gas (nitrogen, hydrogen)	Protective gas (nitrogen, hydrogen)	Protective gas	Protective gas (nitrogen, hydrogen)			Normal	Protective gas (nitrogen methanol)	Ammonia
G. Furnace Door		Front , back-side open	Front , back-side open	Front , back-side open	Front , back-side open	Front , back-side open	Protective gas		Close-open		
H. Tegangan Kerja		220 V, 50 hz									
I. Input Energi (KW)		120					20		42		330
J. Zona Pemanasan		3	3	3	3	3	3		3		3
K. Panjang Zona Pemanas (mm)			10000	8000	3000-6000	3000-6000	5400	3300	1500	3300	
L. Gambar	Alat										
	Skema										

Batch furnace

Jenis <i>Furnace</i> Aplikasi		Rod Over Bed	Cylcone Retort Pit Nitriding <i>Furnace</i>	Cyclone Box <i>Furnace</i>	Bell <i>Furnace</i>	Rotary Drum <i>Furnace</i>	Muffle <i>Furnace</i>	Chamber <i>Furnace</i>	Conveyor Open	Car Bottom <i>Furnace</i>	Laboratory <i>Furnace</i>
A. Elemen Pemanas	Material	Nickel Chrome	Iron Nickel Chrom	Iron Nickel Chrome		Fe-Cr-Al					
	Temperature kerja (°C)	1010 – 1400	700	120 – 700	1150	1100-1600	950	200	850	535	850
	Jumlah	-	-								
	Panjang	-	-								
	Diameter (mm)	19	25-30								
	Konduktifitas Thermal (W/m°C)	11,3	22,8			27					
B. Sistem Insulasi	Energi Input	35 – 175 KW	35 – 126 KW			240 volt					
	Jenis Material	Light weight insulation					Wool, Super wool	Wool insulated	Wool, super wool		Fire brick, super wool, wool
	Nilai Konduktifitas	0,209					0,045 – 0,034; 0,23	0,045 – 0,034	0,045 – 0,034; 0,16		0,72; 0,045 – 0,034; 0,16
	Resistifitas Thermal	2,86									
	Jumlah Layer	-					2		2		2
	Tebal Total	-									
C. Atmosphere							160	60-200	160		
D. Gambar	Alat										
	Skema		LindbergMPH Electric Pit <i>Furnace</i> Brochure	LMPH Heat Treat Solutions Brochure		LABOCON	Electro Heat				

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada pengerjaan tugas akhir ini penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua saya yang selalu mendukung secara moril maupun materil serta do'a yang selalu tercurahkan kepada saya demi kelancaran, kesehatan, dan keselamatan demi menempuh studi ini.
2. Kedua kakak saya yaitu Mas Yogi dan Mbak atun yang juga mendukung secara materil dan moril serta do'anya selama proses menuju titik sekarang ini.
3. Adik kesayangan saya Putri Pertiwi dan keponakan saya Arsila Putri Tanisya yang selalu merindukan saya pulang serta memberi semangat dan menasehati agar selalu berhati-hati.
4. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS.
5. Tim Peluru *Frangible* dan Teman-teman Lab. Komputasi, fisika material, pengolahan material, metalurgi, dan manufaktur yang sudah membantu saya dalam memberikan ilmunya.
6. Catur Desiana yang telah mewarnai proses dalam pembuatan tugas akhir ini.
7. Warga kontrakan menur yang memberi keceriaan ketika *low motivation*.
8. Keluarga MT17 yang banyak memberikan saya pengalaman berharga selama di Departemen Teknik Material.
9. Dan seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi dalam tugas akhir ini.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Muhammad Fahmi Dwi Rizaldi dengan nama panggilan Fahmi. Lahir di Bojonegoro pada tanggal 4 Juni 1997, merupakan anak kedua dari 3 bersaudara putra dari Bapak Marmun dan Ibu Umiati. Penulis mengawali jenjang pendidikan di TK Kartika Bojonegoro, SDN Ledok kulon 1 Bojonegoro, SMP Negeri 5 Bojonegoro dan SMA Negeri 1 Bojonegoro. Saat ini penulis sedang menempuh pendidikan S1 Jurusan Teknik Material. Di Departemen Teknik Material penulis melakukan penelitian Tugas Akhir

bidang studi Material Inovatif, pada Laboratorium Fisika Material dengan judul tugas akhir “**Analisis Kinerja Dan Efisiensi Continuous Furnace Untuk Aplikasi Produksi Frangible Bullet**”. Selama berkuliah, penulis aktif mengikuti beberapa kegiatan dan organisasi antara lain perlombaan paduan suara tingkat Surabaya kategori umum yang diadakan UPN Veteran Surabaya, perlombaan paduan suara tingkat provinsi Jawa Timur yang diadakan UIN Sunan Ampel Surabaya, Ketua forum mahasiswa daerah FORBBITS 2016/2017, Staff departemen dalam negeri HMMT FTI ITS 2017, Staff Kaderisasi LDJ Ash Haabul Kahfi 2016/2017, Wakil kepala departemen kaderisasi LDJ Ash Haabul Kahfi 2017/2018., Komunitas 1000 Guru Surabaya, Penulis juga pernah melakukan kerja praktek di PT Krakatau Steel Cilegon. Nomor telepon penulis yang dapat dihubungi 0895635400515 dengan alamat email m.fahmidwirizaldi@gmail.com.